

GRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE GRADO

AJUSTES ÓPTIMOS DE MORTEROS DE CAL CON MICRO Y NANO SÍLICE (I)

VOLUMEN 1

Proyectistas: Imanol Arregi Intxausti

Directores: Joan Ramon Rosell Amigo

Judith Ramirez Casas

Joan Formosa Mitjans

Convocatoria: Junio 2014

ÍNDICE

	PÁGINA		PÁGINA
1. RESUMEN.....	5	4.10. MODULO ELÁSTICO	24
2. INTRODUCCIÓN		4.11. DILATACIÓN / RETRACCIÓN.....	24
2.1. ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO.....	6	4.12. COMPATIBILIDAD QUÍMICA.....	25
2.2. OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN.. ..	6	5. MORTEROS, PASTAS Y LECHADAS DE CAL TRADICIONALES PARA LA REALIZACIÓN	
3. ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN		DE CONSOLIDACIONES	
3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	8	5.1. GENERALIDADES	26
3.2. REFERENCIAS CITADAS.....	8	5.2. LOS CONGLOMERANTES.....	26
3.3. CONSOLIDANTES ACTUALES		5.3. LA CAL COMO CONGLOMERANTE.....	26
3.1.1. CONSOLIDANTES INORGÁNICOS.....	13	5.4. TIPOLOGÍAS O VARIEDADES DE LAS CALES.....	27
3.1.2. CONSOLIDANTES SILICI-ORGÁNICOS.....	14	5.5. TIPOLOGÍAS DE CAL SEGÚN SU PROCESO DE ENDURECIMIENTO	
3.1.3. CONSOLIDANTES ORGÁNICOS.....	15	5.5.1. CAL AÉREA.....	27
3.4. PRODUCTOS CARACTERÍSTICAS SIMILARES EN EL MERCADO.....	17	5.5.2. CAL HIDRÁULICA.....	28
4. PROPIEDADES DESEADAS EN UN BUEN CONSOLIDANTE		6. PREMISAS DE LA INVESTIGACIÓN	
4.1. TRABAJABILIDAD	21	6.1. MARCO GENERAL.....	32
4.2. TIEMPO ABIERTO	22	6.2. PRESTACIONES DEL MORTERO	
4.3. PENETRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	22	6.2.1. UTILIZACIÓN DE LA SÍLICE COMO PUZOLANA.....	32
4.4. DENSIDAD.....	23	6.2.2. RAZONES DE LA ELECCIÓN DE LA CAL Y NO EL CEMENTO.....	32
4.5. SALES SOLUBLES EN AGUA.....	23	6.2.3. VENTAJAS DE LOS MORTEROS DE CAL VS. CEMENTO.....	32
4.6. PERMEABILIDAD Y TRANSPIRABILIDAD.....	23	6.2.4. VENTAJAS DE LOS MORTEROS MIXTOS VS. CEMENTO.....	33
4.7. ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD.....	23	6.2.5. UTILIZACIÓN DE CL Y NHL.....	33
4.8. ASPECTO Y COLOR.....	23	6.2.6. INYECTABLE.....	34
		6.2.7. DOSIFICACIÓN CAL/PUZOLANA/ÁRIDO.....	34

	PÁGINA
6.2.8. DOSIFICACIÓN CONGLOMERANTE/ÁRIDO.....	34
6.2.9. DOSIFICACIONES PARA ESTUDIO DE COMPOSICIÓN.....	34
6.2.10. INCLUSIÓN DE MICROSÍLICE.....	34
6.2.11. DOSIFICACIONES FINALES E INCLUSIÓN DE NANOSÍLICE.....	34
 7. MATERIALES EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS	
7.1. CAL.....	37
7.2. NANOSÍLICE.....	39
7.3. MICROSÍLICE.....	40
7.4. ÁRIDO.....	41
7.5. ADITIVO REDUCTOR DE AGUA.....	42
AGRADECIMIENTOS.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE IMÁGENES**PÁGINA**

FIG. 01: Disgregación del mortero a causa de la poca transpirabilidad del cemento.....	4
FIG. 02: Inyección de material consolidante mediante jeringuilla en paramentos degradados.....	4
FIG. 03: Revestimiento degradado debido a la eflorescencias.....	5
FIG. 04 : Panteón de Agripa (Roma) construido mediante opus caementicium.....	7
FIG. 05 : Chozas de Cordoba tomadas con mortero de Cal.....	7
FIG.06 : Hornos verticales para la fabricación del cemento.....	7
FIG.07 : Vicat expuso por primera vez y de forma científica las propiedades hidráulicas.....	8
FIG.08 : Basílica de Majencio de Roma construida mediante opus caementicium.....	8
FIG.09 : Restauración de los frescos dañados de una sala.....	8
FIG.10 : Consolidación de paramento dañado mediante la inyección del consolidante mediante jeringuilla.....	9
FIG. 11: Estado en que se encontraban los frescos de la Ermita de Santa Lucía antes de la intervención.....	9
FIG 12. : Inyección del consolidante en la restauración de la Ermita de Santa Lucía.....	9
FIG .13 : Estado en que se encontraban los frescos de la Ermita de Santa Lucía antes de la intervención.....	10
FIG. 14: Inyección del consolidante en la restauración de la Ermita de Santa Lucía.....	10
FIG.15 : Degradación de la piedra calcárea situado en un edificio histórico.....	10
FIG.16: Leslie Rainer, una de las autoras del manual del Getty Institute.....	11
FIG.17 : Foto de la catedral de Sta. María de Vitoria – Gasteiz.....	11
FIG.18 : Manual citado del Getty Institute.....	11
FIG. 19: Preparación de la lechada (en pequeñas cantidades) para su posterior inyección.....	12
FIG.20 :Consolidante de piedra natural porosa a base de ácido silícico de la casa Reventón.....	12
FIG.21 : Reparación de las juntas del mosaico mediante la inyección de material consolidante.....	12
FIG. 22: Otra de las aplicaciones de las resinas epoxi es el grapado de grietas.....	13
FIG. 23: Una de las aplicaciones de las resinas epoxi más empleadas en la actualidad.....	13
FIG. 24: Consolidante a base de resinas epoxi Araldyt AY 103-1.....	13
FIG.25: Consolidante a base de Resinas acrílicas Paraloid B72 de la casa Rhom & Haas (USA).....	14
FIG.26: Consolidación de fachadas de piedra calcárea mediante inyecciones de silicatos de etilo.....	14
FIG. 27: Consolidación de mampostería mediante inyecciones de resina epoxi para posterior grapado.....	14
FIG. 28: Reparación de las juntas dañadas mediante la mezcla previamente preparada.....	15
FIG. 29: Estuco desprendido de la fachada de un edificio.....	15
FIG. 30: Reparación de la fachada dañada con empleo de un andamiaje.....	15
FIG. 31: Reparación de la grieta mediante resinas epoxi.....	16
FIG. 32: Consolidación de la torre Bofilla de Bétera (Valencia) mediante la inyección a baja presión de Limepor IZ8.....	16
FIG. 33: Consolidante a base de cal hidráulica Limepor 100 de la casa Kimia.....	16
FIG. 34: Consolidación realizada de la torre Bofilla de Bétera (Valencia) mediante productos Limepor.....	17

ÍNDICE IMÁGENES**PÁGINA**

FIG. 35: Consolidante a base de silicato de etilo indicado como consolidante y presolidante de materiales pétreos de la casa Estel 1000.....	17
FIG.36: Consolidante a base de cal hidráulica Limepor IZ8 de la casa Kimia.....	17
FIG.37: Trabajos de limpieza y consolidación en San Blaudelio.....	18
FIG.38 : Consolidante a base de cal hidráulica natural Limepor IZ4 de la casa Kimia.....	18
FIG.39: Consolidación de los lienzos Sert.....	18
FIG.40: Consolidante a base de cal hidráulica natural MAPE-ANTIQUÉ I de la casa MAPEI.....	19
FIG.41 : Consolidación de mural histórico mediante la inyección de material consolidante.....	19
FIG.42 : Producto MAPE-ANTIQUÉ preparada para su puesta en obra.....	19
FIG.43 : Recipiente metálico con la pastada recién extraída de la mezcladora.....	20
FIG.44: Prueba de inyección en el simulador de paramento.....	20
FIG.45 : Observación de material de estudio endurecido en placa petri.....	21
FIG.46 : Preparación de material en recipiente de cristal.....	21
FIG.47 : Retracciones observadas en una de las primeras dosificaciones.....	23
FIG.48 : Muestras depositadas en recipientes pequeños para su posterior estudio.....	23
FIG.49 : Muestras en placa petri con retracciones aceptables.....	23
FIG.50 : Cal Aérea CL – 90 de la casa Pachs.....	24
FIG.51: Preparación de lechada para posterior prueba en el simulador de inyectabilidad.....	26
FIG.52: Reparaciones agresivas mediante cemento en paramentos dañados.....	31
FIG.53: Reparación y realización de juntas en un muro de piedra.....	31
FIG.54: Consolidación de mampostería degradada a causa de la humedad mediante la inyección del consolidante.....	31
FIG.55: Árido utilizado: Micromar 250 de la casa comercial Aymar.....	32
FIG.56: Árido en depósito de Aymar, en San Celoni.....	32
FIG.57: Diferentes tipos de cemento utilizados en construcción.....	32
FIG.58: Muestras con y sin la presencia de CO ₂	33
FIG.59: Muestras con y sin la presencia de CO ₂	33
FIG.60: Apariencia de la Cal CL – 90 S micromatizada de la casa comercial Pachs.....	36
FIG.61: Vista exterior del saco de la Cal Hidráulica NHL 3.5 Z de la casa comercial St. Astier.....	37
FIG.62: Apariencia de la Cal Hidráulica NHL 3.5 Z de la casa comercial St. Astier.....	37
FIG.63: Vista exterior del recipiente de la Nanosílice 999 de la casa comercial Elkem.....	38
FIG.64: Apariencia de la Nanosílice 999 de la casa comercial Elkem	38
FIG.65: Vista exterior del recipiente de la Microsilica 971 U de la casa comercial Elkem.....	39
FIG.66: Apariencia de la Microsilica 971 U de la casa comercial Elkem.....	39
FIG.67: Vista exterior del saco del árido Micromar 250 de la casa comercial Aymar.....	40
FIG.68: Apariencia del árido Micromar 250 de la casa comercial Aymar.....	40
FIG.69: Vista exterior del recipiente del Rheomix GT 250 MA de la casa comercial Basf.....	41
FIG.70.: Apariencia de la lechada después de añadirle Rheomix GT 250 MA de la casa comercial Basf.....	41



FIG. 01: Disgregación del mortero a causa de la poca transpirabilidad del cemento



FIG. 02: Inyección de material consolidante mediante jeringuilla en paramentos degradados



FIG. 03: Revestimiento degradado debido a las eflorescencias

1 RESUMEN

El presente proyecto de fin de grado titulado “Determinación de óptimos de los morteros de cal con micro y nano sílice, así como su inyectabilidad y adherencia con los distintos soportes”, nació de la creciente necesidad en el mundo de la construcción (más concretamente en el de la restauración) de poder disponer en el mercado de productos aptos para la realización de consolidaciones de elementos arquitectónicos con cierto valor patrimonial.

Dicho proyecto es la continuación del proyecto de fin de grado realizado por Roser Puchol Ruiz titulado “Desarrollo de material en base de cal, microsílíce y nanosílíce”.

En el estudio se desarrolló un mortero para la inyección con base de cal pero con la introducción de ciertas variables para así poder producir un mejor material.

Cuando hablamos de competitividad se entiende que se intenta buscar un material que ofrezca mejoras en las prestaciones finales con la afinidad química y física con el soporte existente a tratar. Para entender este hecho, hemos de decir que el material está concebido para la consolidación de soportes de origen calcáreo, como pueden ser los estucos o morteros de cal degradados.

Los materiales que constituyen el mortero de cal tradicional y que son el punto de partida de este proyecto son: el conglomerante, el árido y el agua. En este proyecto, como conglomerante se emplea la cal, como árido se emplea un árido de origen calcáreo y finalmente se emplea agua.

Además de los materiales citados, emplearemos aditivos y adiciones que a continuación se detallan como son la nanosílíce, microsílíce y un aditivo reductor de agua.

Los morteros de cal para la consolidación mediante inyecciones presentan ciertas carencias;

- Tardanza en la carbonatación, es decir, si se inyecta un producto que necesita del CO_2 del ambiente para poder endurecerse, la capacidad de intercambio con el ambiente disminuye debido a que la penetración del CO_2 es mucho más lenta que si está expuesto al ambiente directamente. Por lo tanto y teniendo en cuenta que tanto la cal aérea como la hidráulica tienen como mínimo una parte del producto que carbonata de forma aérea, se decidió la utilización de microsílíce y de nanosílíce, con la intención de producir una reacción hidráulica de la totalidad del mortero.

- Para que un producto pueda ser inyectable ha de tener una consistencia fluida. Para que los morteros de cal tradicionales alcancen una consistencia óptima, necesitamos una cantidad de agua de amasado demasiado elevada, en el sentido de que el exceso de agua provoca bajas resistencias y alta porosidad. Para poder resolver la gran demanda de agua del producto, se determinó el empleo de un aditivo reductor de agua que nos permita trabajar con relaciones de agua conglomerado más bajas.

- Altas retracción durante el endurecimiento. Este hecho es consecuencia directa de la anterior, es decir, cuanta más agua se le añade al mortero, que se entiende como sobrante pero que durante el amasado y puesta en obra es imprescindible. Por lo tanto y para evitar este problema, se ha decidido añadir una zeolita que haga la función de esponja, es decir, que tenga capacidad para retener el agua y dejarla ir con el paso del tiempo.

En este estudio, se pretende optimizar la sílice para la obtención de un material con una dosificación óptima y con unas prestaciones idóneas para su inyección a

partir del estudio teórico previo realizado por Roser Puchol Ruiz.

Para tener un material como referencia, se ha escogido un producto existente en el mercado, los PLM de la casa italiana CTS, que pueden parecerse al producto que pretendemos formular. Los dos productos (el de nueva creación y el PLM) se pueden considerar consolidados inorgánicos que se basan en la precipitación de un compuesto de tipo inorgánico al interior de la red porosa, que realiza la función cimentando y aglutinando las partículas.

Los PLM se comercializan como “Morteros de inyección en base de cales naturales exentos de sales eflorescentes, con aditivos inertes seleccionados y aditivos modificadores de las propiedades reológicas”. Actualmente están siendo muy empleados en el campo de la restauración.

Esta reflexión no pretende poner de manifiesto que el PLM sea un mal producto, sino que el empleo del mismo en ciertos casos puede ser erróneo. Lo que pensamos es que es un error tratarlo como un producto de alta calidad para la realización de consolidaciones en elementos de valor patrimonial. El hecho es que desconocemos el comportamiento de las resinas a la larga y que además son productos que pueden desencadenar otros procesos patológicos en los elementos consolidados, como podría ser un cambio de color.

Si pensamos en que el elemento a consolidar tiene o puede tener cierto valor patrimonial y que por lo tanto tiene un valor no solo el propio elemento, sino que muy probablemente es un elemento irrepetible. El hecho de plantearse emplear un material que en su composición se han introducido resinas nos deja entrever que algo no es correcto (este producto no se debería de utilizar indiscriminadamente).

2 INTRODUCCIÓN

2.1 ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO:

Desde un inicio se planteó la realización de un trabajo en el que se pudiera demostrar, experimentalmente, la eficacia del producto que se desarrolló en el trabajo titulado “Desarrollo de material en base de cal, microsílíce y nanosílíce”, realizado por Roser Puchol Ruiz.

Los estudios teóricos y experimentales que actualmente se publican sobre la cal o sobre los consolidantes no van encaminados en la misma dirección que dicho estudio. Un ejemplo de este hecho es la predicción del comportamiento que mostraron la microsílíce y la nanosílíce introducidas en el mortero de cal, dado que existen casos de productos estudiados y comercializados, como por ejemplo los aditivos de la casa Ulmen (en base de nanosílíce), que se aplican en hormigones y que han mostrado resultados muy satisfactorios. Pero no existen ejemplos o productos con base de cal donde se emplee la nanosílíce o la microsílíce.

Por lo tanto, en el apartado teórico aunque se intentó explicar todo aquello que se consideraba imprescindible, hay puntos en los que se realizaron predicciones que no tenían una demostración hasta que no se realizase la parte experimental.

En este sentido diremos que las consecuencias previstas en el apartado teórico no siempre se han de cumplir empíricamente, pero creemos que no es por un mal planteamiento inicial, sino que por el desconocimiento de algunos de los productos aplicados y de las posibles reacciones de las mismas.

Como primera fase se ha decidido realizar una búsqueda para la **Determinación del óptimo teórico a partir de las mezclas, análisis mediante rayos X y termogravimétricos** realizados por el profesor Joan Formosa en el laboratorio de la Universidad de Barcelona de Química.

Se realizarán unas primeras mezclas en el laboratorio de materiales de la EPSEB con los mismos porcentajes del trabajo previo realizado por Roser Puchol Ruiz, estudiando su consistencia y seguidamente realizando los análisis químicos descritos anteriormente.

La segunda fase del proyecto es el **Diseño de nuevas dosificaciones** a partir de los resultados obtenidos en la fase anterior. Se analizan unos óptimos, buscando el porcentaje de agua, fluidificante, cales y puzolanas más idóneas para obtener una mezcla satisfactoria en nuestra búsqueda. Se realizarán los test de consistencia y viscosidad, también se observará la retracción que tengan estas mezclas, y cuando se encuentre unos valores óptimos se realizarán otra vez los análisis químicos.

Cuando lleguemos a las mezclas óptimas, procederemos al **Diseño de los ensayos y la planificación de los mismos**, gracias a la bibliografía encontrada podremos determinar cuáles son los ensayos más adecuados para nuestras mezclas, en las cuales tendremos que analizar la inyectabilidad, viscosidad, adherencia, resistencia a compresión, la retracción y algunas propiedades más necesarias en un buen producto de estas características.

En la cuarta fase se realizará la **Campaña Experimental**, donde se llevarán a cabo los ensayos diseñados y escogidos en la fase anterior. Será de vital importancia la toma de imágenes y todos los datos posibles para poder reflejarlos en el papel y que puedan servir para posibles estudios futuros.

En la quinta y última fase se realizará un **Análisis de resultados y la discusión de las mismas**, en base a los experimentos realizados, obteniendo de esta forma unos resultados que tendremos que analizar y comentar con los tutores para poder sacar unas **Conclusiones Finales**.

2.2 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN:

Con este proyecto se pretende estudiar y caracterizar un mortero que sea adecuado para realizar consolidaciones mediante inyecciones en elementos que tengan cierto valor arquitectónico.

En la actualidad, en el mercado ya existen diversos productos para la realización de consolidaciones, pero no hay ningún producto que sea ciertamente efectivo en el caso de rocas de origen calcáreo o de morteros carbonatados.

Entendemos que lo que se pretende, cuando se realizan las consolidaciones, es mejorar las características (físicas o mecánicas) de un elemento existente, que debido a una alteración, sobre todo de aquellos relacionados con cambios de volumen, como pueden ser ciclos de hielo/deshielo o cristalizaciones de sales, dejan de tener la capacidad mecánica inicial o adecuada.

Por lo tanto, un buen consolidante ha de aportar una mejora de la capacidad mecánica del material sin producir incompatibilidades químicas, como por ejemplo son la formación de sales, y de tipo físico, como podría ser un coeficiente de dilatación muy diferente del material existente que pudiera acabar provocando tensiones internas.

El grado de éxito en una consolidación depende de diversos factores, pero el más relevante es la profundidad de penetración del producto consolidante en el interior del material dañado. Sin embargo, el grado de penetración del material depende de la porosidad del material a tratar y de la forma que presente la misma, de las características del material consolidante (peso, viscosidad, tensión superficial) y del método de aplicación del material consolidante.

Es importante tener en cuenta que no se trata de que el producto penetre simplemente al máximo, sino que se ha de intentar que la distribución del consolidante a través de la red porosa sea la más homogénea posible para así evitar crear fuertes discontinuidades, tanto de capacidades mecánicas

como de porosidad, que podrían llegar a crear tensiones en el interior del material y provocar su deterioro.

Otra propiedad muy importante que se le exige a los materiales empleados en las consolidaciones, es la ausencia de productos que puedan producir reacciones químicas adversas o alteraciones de composición en el material a consolidar, como podría ser la formación de sales solubles.

Por lo tanto y haciendo un pequeño resumen de las características que se le exigen a un material para consolidaciones podemos decir;

- 1) Ha de mejorar la cohesión y la adhesión de las partículas (mejorar la resistencia).
- 2) Ha de poder penetrar con cierta facilidad (ha de ser poco viscoso).
- 3) Ha de ser químicamente compatible con el material a tratar.
- 4) Ha de permitir el paso de la humedad a través del material para impedir la acumulación de agua y sales.
- 5) Ha de distribuirse uniformemente en el interior de la red capilar.
- 6) No modificar el aspecto del material (por ejemplo cambio de color).



ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN



FIG. 04: Panteón de Agripa (Roma) construido mediante opus caementicium. Data del 27 a. C.



FIG. 05: Chozas de Cordoba tomadas con mortero de Cal. Datan de la Edad Media.



FIG. 06: Hornos verticales para la fabricacion del cemento. Datan de la decada de 1890.

3 ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN

En este apartado se realizara una explicación del origen de los morteros de cal, de su evolución a lo largo de la historia y del estado actual del mercado, de las tipologías comerciales, así como de su utilización.

3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El origen de los morteros está ligado al descubrimiento de la cal y del yeso. Aunque su origen no está claro, ciertos autores lo sitúan al inicio de la prehistoria, y estuvo condicionado con el descubrimiento del fuego y la posibilidad que este hecho proporciona para la calcinación de las piedras.

Los primeros morteros que aparecen en la prehistoria son mezclas de fango, áridos y material vegetal que se empleaban como base en la construcción las viviendas o para la realización de las defensas. El aglomerante principal en estos morteros son los silicatos arcillosos, componentes de las cales naturales o artificiales e hidróxidos de hierro.

Podríamos decir que los primeros en utilizar el mortero de cal, propiamente dicho, son los helenos. Estos morteros que se conocían como morteros helenos, estaban conformados a base de cal, yeso y áridos de polvos de mármol.

La civilización romana introdujo un nuevo avance en las técnicas y composiciones de los morteros para la construcción, desarrollando el “opus caementicium”, mortero de cal con árido y puzolana. Su utilización fue masiva tanto para la unión o fijación de piezas en paredes y otros elementos constructivos, como en revestimientos y como elemento base para la fabricación de los primeros hormigones.

No se sabe con exactitud la fecha de la introducción del mortero de cal, pero los romanos fueron capaces de perfeccionar rápidamente y transmitir por todo el

imperio los procesos de fabricación de la cal y la puesta en obra del mortero.

Aun así, en la época posterior al imperio romano, el retroceso cultural y tecnológico supuso la desaparición de los morteros perfeccionados que dieron paso a morteros de baja calidad.

Podríamos decir que no fue hasta la segunda mitad del siglo XVIII, cuando la cal aérea fue substituida gradualmente, primero por la cal hidráulica y después por el cemento tipo portland.

En el año 1812, el ingeniero de origen francés J. L. Vicat, expuso por primera vez y de forma científica, las propiedades hidráulicas de ciertas cales y que estas propiedades se debían principalmente a la reacción del óxido de cal con los compuestos derivados de las arcillas, es decir, sílice con óxido de hierro y aluminio, y que esta reacción producía silicatos cálcicos hidratados.

En el año 1824, el fabricante británico Joseph Aspdin patentó el cemento que producía y afirma que “es tan duro como la piedra”. Este cemento se le llama cemento portland.

En el año 1839, J. L. Vicat define el término “hidráulico” como aquel conglomerante que tiene la propiedad de endurecer bajo el agua.

La sustitución definitiva de los morteros de cal por los conglomerantes derivados del portland lo podemos situar en el año 1851, coincidiendo con la exposición Universal celebrada en Londres, donde se enseñó al mundo el progreso de la maquinaria, los productos manufacturados, las materias primas. En resumen, todos los frutos de una creciente industria.

Durante el siglo XX, el desarrollo de las técnicas industriales y el mayor y mejor conocimiento científico de los materiales hizo que produjera la aparición incontrolada de nuevos materiales de

construcción y que la nomenclatura de los materiales se veía demasiado tergiversada.

Actualmente, el mayor conocimiento de los materiales convencionales, ha permitido el hecho de que se incluyan dentro de la formulación de estas, elementos de nueva concepción que han aportado ciertas mejoras a los productos convencionales. Ejemplos de estos hechos son los cementos con adiciones, maderas laminadas, vidrios compuestos, placas de yeso reforzados, morteros con aditivos, etc.

Por lo tanto y como conclusión podríamos decir que la evolución de la civilización ha hecho que la industria de los morteros, ya sean naturales o sintéticos, avance de forma extraordinaria. Hoy en día, esta industria puede dar respuesta a casi todas las situaciones que se puedan presentar en una obra.

3.2 REFERENCIAS CITADAS

Hoy en día existen un campo donde los morteros son especialmente importantes y relevantes: se trata de la restauración. La necesidad de mantener inalterados los edificios y monumentos históricos con el paso del tiempo ha motivado una corriente de estudios e investigaciones para dar una respuesta a las diversas situaciones que se producen durante la restauración de los elementos históricos y/o patrimoniales.

Desde siempre ha existido la necesidad de mantener inalterados los elementos que tienen un cierto valor, ya que todas las culturas han querido preservar aquellos elementos que se consideraban importantes. Debido a este hecho, los monumentos históricos y/o con valor patrimonial han padecido sucesivas intervenciones de restauración con los materiales de la época y que no siempre son compatibles con las características del material original.



FIG. 07: J.L. Vicat, expuso por primera vez y de forma científica las propiedades hidráulicas de ciertas calces. Data de 1812.



FIG. 08: Basílica de Majencio de Roma construida mediante opus caementicium. Data de 312 d.C.



FIG. 09: Restauración de los frescos dañados de una sala.

En el año 1986, Paola Rosi ya detallaba las características mínimas exigibles a un nuevo mortero para emplearlo en la restauración *“lo más similar posible al original en cuanto a color y textura, compatibilidad con el material original, igual porosidad o ligeramente superior al original, resistencia a compresión menor o igual a la de la original, trabajabilidad adecuada, elevada compacidad, retracción mínima, contenido mínimo de sales solubles, adecuada adherencia con el soporte, impermeabilidad a los fluidos, permeabilidad al vapor del agua y la durabilidad.”*

La compatibilidad es un factor muy importante en el campo de la restauración y aunque un material a priori parezca adecuado por sus propiedades, como puede ser el caso del mortero de cemento, que posee buenas propiedades físico-mecánicas. En cambio, produce incompatibilidades al entrar en contacto con materiales más tradicionales debido a que estas últimas tienen porosidades más elevadas o módulos de elasticidad más elevados. Estas incompatibilidades producen diferencias en el comportamiento térmico y mecánico.

La restauración, como ya lo hemos dicho previamente, es una actividad que se ha llevado a cabo desde el pasado y que ha ido evolucionando desde la época de las artes y los oficios hacia una actividad técnica y científica con un grado de especialización muy elevado. En este sentido, la introducción de nuevas técnicas instrumentales de análisis y nuevos métodos de tratamiento / intervención en los monumentos ha posibilitado este desarrollo.

En el caso de las consolidaciones o protecciones del material original, podemos destacar los estudios de (LAURENZI, T., 1995), con la creación de un banco de datos de espectros de FTIR para comparar productos empleados para la consolidación y protección de la piedra.

En cualquier intervención en el patrimonio o sobre los monumentos con cierto valor arquitectónico, la primera acción es el estudio de los elementos existentes y de su entorno, es decir, se ha de conocer el elemento en la cual intervendremos y sus condiciones para poder determinar los materiales más idóneos a utilizar y de qué manera emplearlos. En este sentido, el proyecto de master Restauración: estudio metodológico sobre las intervenciones de restauración y conservación del patrimonio arquitectónico (PANIELLO, M., 2010) realiza un recorrido interesante desde la evaluación previa a realizar antes de comenzar la intervención, hasta el control, registro y evaluación final de los tratamientos llevados a cabo.

Llegados a este punto, es importante apreciar que existen unos “principios básicos o pautas” que se han de tener en cuenta y cumplir en la medida de lo posible para poder asegurar un mínimo de calidad en el resultado final. Diversos autores han hecho referencia a este hecho, donde se contempla como requisitos básicos, la reversibilidad, la mínima intervención posible, la durabilidad y la compatibilidad.

A continuación realizaré una breve descripción de los aspectos concretos que hacen referencia a la elección de un material para la consolidación mediante inyecciones.

En primer lugar, se ha de detectar (dado que es básico y es la premisa más importante a tener en cuenta), el conocimiento sobre el material donde actúa el elemento y del elemento constructivo del que formara parte.

Para poder conocer en profundidad el material, se deberá de realizar una caracterización petrológica y físico-mecánica para poder conocer en profundidad la composición mineralógica, su textura, la porosidad y todos aquellos aspectos que puedan ser relevantes para el proceso de restauración del elemento.

Como “consolidación” se entiende como un tratamiento para mejorar las características de cohesión y de adhesión entre los constituyentes del material (TORRACA, G., 1975; ALESSANDRI, G., 1976).

El tratamiento ideal de consolidación ha de distribuirse uniformemente, de manera que se produzca un reparto gradual del producto dentro del elemento a tratar. De esta manera se evitara un cambio brusco en las características del material existente. Por este motivo, se considera que cuanto más penetre el material, más eficaz resultara el tratamiento.

Cabe resaltar que es muy difícil controlar la distribución del consolidante en el interior de las cavidades del material a tratar. Además, el análisis posterior de esta distribución es difícil de realizar mediante métodos no destructivos. Este control, si es posible cuando se trata de probetas de laboratorio, aunque los resultados no son del todo extrapolables a otras circunstancias.

Una propiedad muy importante que han de tener los consolidantes es la ausencia total de productos secundarios que se puedan generar por interacciones entre el material y el producto aplicado, como por ejemplo las sales solubles que se forman por hidrólisis. Estos productos pueden perjudicar a la larga el tratamiento y el elemento o el material original.

En el caso de la consolidación, el éxito de un tratamiento no solo depende del producto que se emplea, sino que también de la manera de aplicación de este, así como de las características intrínsecas y del estado de conservación del material a tratar.



FIG. 10: Consolidación de paramento dañado mediante la inyección del consolidante mediante jeringa.



FIG. 11: Estado en que se encontraban los frescos de la Ermita de Santa Lucía antes de la intervención.



FIG. 12: Inyección del consolidante en la restauración de la Ermita de Santa Lucía.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriormente expuestas, podemos afirmar que un buen tratamiento de consolidación ha de tener las siguientes características:

- Ser compatible con el material a tratar (SEPULCRE, A., 2003; PRICE, C. A., 1975).
- Tener una buena capacidad de adhesión (MAS, X., 2006; PRICE, C. A., 1975).
- Adecuado tiempo de trabajabilidad, esto quiere decir que no se seque tan rápido que no nos permita trabajar, ni tampoco un material que tarde mucho en endurecer, porque eso produce una debilidad elevada en aquella zona.
- Baja retracción para no crear tensiones unidas al material que se desea tratar.
- Tener una baja viscosidad, una moderada tensión superficial y un bajo peso molecular. Estos factores favorecen la penetración del tratamiento dentro del elemento a tratar, aunque un material con un muy bajo peso molecular puede hacer retroceder hacia la superficie evaporando el disolvente. Hay ciertos autores que hasta cifran la penetración en valores, por ejemplo en el caso de consolidaciones de rocas de 25 mm. (PRINCE, C. A., 1975).
- No obstruir del todo la porosidad o reducir de una manera significativa el transporte de la humedad al interior del elemento a tratar. En este punto cabe ser prudentes, dado que siempre dependerá del lugar, de los factores extrínsecos al propio material y del elemento constructivo donde esté integrado el material.
- No alterar la porosidad, y especialmente no aumentar el porcentaje de poros pequeños, ya que eso aumenta la vulnerabilidad al deterioro por acción de sales o del hielo/deshielo.

- No producir cambios de color.
- No formar productos secundarios nocivos para el elemento consolidado. Muchos consolidantes inorgánicos se forman como resultado de la reacción entre dos compuestos (TORRACA, G., 1975). Además del precipitado, si se forma una sal soluble como un producto secundario, esta puede recrystalizar formando eflorescencias a la superficie del elemento tratado.
- No rebajar de manera significativa la permeabilidad al vapor del material.

Cabe decir que aunque he citado algunas de las propiedades existentes, y si se compara un estudio con otro, siempre existen puntos o características contradictorios.

En el mercado existen tres grandes grupos de productos para la consolidación, cada una de ellas con unas virtudes y unos defectos: los consolidantes de tipo orgánico, los consolidantes de tipo silico-orgánicos y los consolidantes de tipo inorgánico.

Los productos orgánicos, que la gran mayoría de los cuales son resinas de origen sintético, aunque no tienen un origen natural (además de su poder consolidante), se caracterizan por producir un efecto hidrófugo sobre el material tratado, debido a su composición orgánica. Dentro de este grupo de consolidantes, se sitúan las resinas acrílicas, Polietilenglicoles, Polioxietileno y epoxídicas.

Las resinas sintéticas podríamos decir que ofrecen las soluciones a todos los efectos negativos o contraproducentes de los productos inorgánicos, pero generan otros inconvenientes que los productos inorgánicos ya solucionan. Es decir, como ventajas podríamos citar que tienen un mejor comportamiento mecánico, tiempo de espera y de aplicación mucho menos elevados que el de los productos inorgánicos. Pero por el contrario, tienen comportamientos térmicos muy diferentes de los materiales a tratar, envejecimiento prematuro y falta de afinidad química.

El segundo gran grupo de productos son los llamados los silico-orgánicos, que son monómeros que reaccionan en presencia del agua, formando durante este proceso sílice amorfa, dependiendo de la naturaleza del monómero utilizado. Los silicatos de etilo y sodio, fluorsilicatos, Alquíl – Alcoíl - Silanos, y los Alquíl – Aril - Polisiloxanos forman parte de este tipo de productos.

La principal ventaja de presentan es su alta capacidad de penetración.

El defecto más importante que presenta este tipo de consolidantes es la notable influencia de la humedad ambiental en el proceso de hidrólisis.

De todos los productos mencionados, los más extendidos y empleados actualmente son los silicatos de etilo, producto que ciertos autores ponen de manifiesto que su efecto en rocas de origen sedimentario es muy satisfactorio, excepto en las calcáreas de origen sedimentario, donde los resultados son poco satisfactorios, dado que ciertos autores ponen de manifiesto esta falta de eficacia y los efectos negativos en ciertos aspectos como las permeabilidades.



FIG. 13: Estado en que se encontraban los frescos de la Ermita de Santa Lucía antes de la intervención.



FIG. 14: Inyección del consolidante en la restauración de la Ermita de Santa Lucía.



FIG. 15: Degradación de la piedra calcárea en situado en un edificio histórico.

Los productos inorgánicos (el tercer gran grupo), son sustancias de naturaleza inorgánica que por reacción química precipita un compuesto también inorgánico en el sistema poroso de un material pétreo, mortero o cerámico, el cual aglutina las partículas o componentes minerales realizando una función cementante, como por ejemplo los tratamientos de cal y sus derivados, como el agua de cal, los hidróxidos de bario, los aluminatos alcalinos, los silicatos alcalinos o los fluorosilicatos.

En la consolidación del material de origen pétreo con productos inorgánicos, no siempre se han obtenido resultados satisfactorios. Ciertos autores, como por ejemplo (MINGARRO, F., 1996) en su libro “Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico”, especifica que los principales inconvenientes de este tipo de tratamientos son: baja penetración, formación de productos secundarios, generalmente sales que producen hasta variaciones cromáticas, largos tiempos de endurecimiento, crecimiento de cristales en los poros que puede producir tensiones internas en los materiales tratados y que no mejoran siempre las propiedades mecánicas. Por otro lado, como virtud de estos productos destaca su afinidad y compatibilidad con los materiales a tratar y su prolongada vida útil, superior al tratamiento de tipo orgánico.

A pesar de los inconvenientes mencionados, ciertos autores afirman que los productos en base de cal y sus derivados, en tratamientos de rocas o materiales de origen calcáreo, son las más idóneas debido a su composición, muy similares a los materiales existentes.

Por lo tanto, los productos inorgánicos basados en carbonatos cálcicos y sus derivados son productos aptos, pero que ha de intentar paliar sus defectos. En este sentido existen estudios que siguen esta corriente e intentan aportar soluciones a los inconvenientes actuales (GIORGI, R.; DEI, L; BAGLIONI, 2001), en su nuevo artículo “Nuevo método para la consolidación de pinturas murales basadas en dispersiones de cal viva en alcohol”, proponen el empleo de hidróxido cálcico en pasta y con una dispersión con propanol. Afirman que es un buen consolidante con un gran poder de adhesión y que el propanol le proporciona a la mezcla una mayor capacidad de penetrabilidad.

Según los autores, se aconseja reducir, en gran medida, los tiempos de endurecimiento de las lechadas y argamasas de cal para la consolidación.

Finalmente y para poder entender el motivo de la utilización de la nanosílice y la microsílice en este proyecto de fin de grado, se debe de realizar una reflexión sobre las puzolanas y sobre su efecto en los morteros de cal, dado que el SiO_2 empleado se puede asimilar al efecto puzolánico de otros materiales.

En este sentido la tesis “Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración” (SEPULCRE, A., 2005) hace reflexiones como; “... desde la perspectiva de la compatibilidad (mecánica, compositiva, degradativa, etc.), se consideran como materiales más adecuados para la intervención en fábricas históricas, los morteros de cal. Sin embargo, lo que supone un gran problema en estos morteros, sobre todo cuando hay una dificultad de aireación del mortero, es la garantía de carbonatación de la argamasa. Para lo cual, se sitúa como la solución más idónea, el uso de conglomerantes calcáreos modificados con puzolanas o con cementos”.

En la tesis mencionada, el producto puzolánico escogido es el metacolín, pero existen otros trabajos de investigación con puzolanas, como por ejemplo la utilización de sepiolitas.

Por lo tanto y entendiendo la creciente necesidad de conseguir un producto en base calcáreo (debido a todos los motivos anteriormente expuestos), pero intentando paliar los problemas que presentan los mismo, se considera interesante la utilización de la nanosílice y la microsílice como productos puzolánicos.

Como explicaremos más adelante, el producto inicial escogido para el TFG fue la nanosílice, dado que existía una serie de estudios que planteaba que este producto, como aditivo en cementos de portland,

aportaba ciertas mejoras que podrían ser beneficiosas en nuestro caso, como aumento de resistencia o tiempo de adormecimiento de los mortero inferiores.

Existen diversos artículos sobre la adición de nanosílice al cemento portland, donde se analiza el posible efecto puzolánico y/o el efecto de la partícula mediante la técnica del análisis termogravimétrico, que también determinaron las resistencias mecánicas a compresión sobre estas mezclas. Los resultados mostraban, en general, un comportamiento adecuado para posibles aplicaciones, obteniendo resistencias superiores a la mezcla sin nanosílice, pero dicen que hay una serie de factores a tener en cuenta respecto a su empleo, como son la dispersión de la nanosílice en la matriz cementante, la relación agua/cemento y el porcentaje de nanosílice añadida.



FIG. 16: Leslie Rainer, una de las autoras del manual del Getty Institute.



FIG. 17: Foto de la catedral de Sta. María de Vitoria – Gasteiz

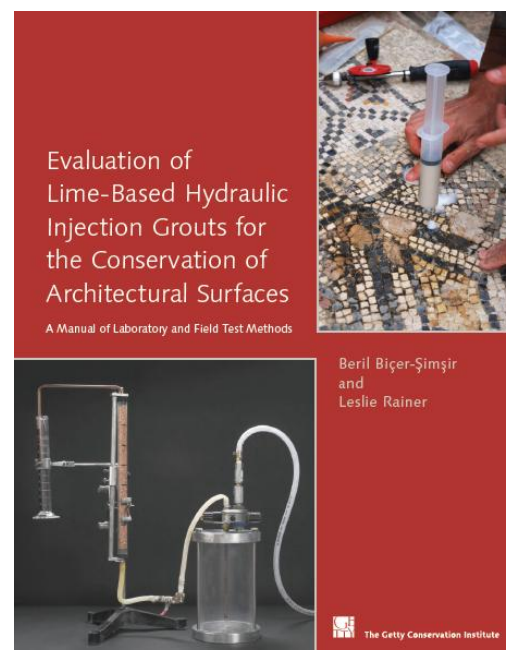


FIG. 18: Manual citado del Getty Institute

Otro artículo interesante es “Residuo nanosílice: alternativa ambiental para producir morteros y hormigones” (PUENTE, L.; ALONSO, C.; ZAMORANO, Y., 2011) donde se estudiaron los efectos sobre las propiedades mecánicas, físico-químicas y durabilidad que proporcionan la incorporación del residuo geotérmico de la nanosílice en morteros y hormigones expuestos en diversos ambientes de humedad y temperatura.

Por lo tanto y con todos los estudios analizados, se determina estudiar y encaminar el presente proyecto de fin de grado hacia la obtención de un producto en base de carbonato cálcico, con un añadido de SiO_2 como producto hidráulico.

Para finalizar con éste apartado de los estudios de referencia, hemos de nombrar, a un manual reciente, en el que se habla de ensayos a realizar para caracterizar y estudiar una lechada, éste manual, cuyo nombre es: Evaluation of Lime-Based Hydraulic Injection Grouts for the Conservation of Architectural Surfaces, se trata de un manual detallado en el que se describen los diferentes estudios y ensayos a realizar en una lechada de inyección, para poder estudiar todas las características de trabajo del material, así como otras características importantes como sería la retracción, permeabilidad, etc.

De éste manual, también hemos extraído la adaptación de una norma UNE, más precisamente la EN 1771, en el que se describe como realizar una prueba para conocer e clasificar la inyectabilidad de un material, existe una adaptación realizada por los autores del manual, para poder llevar a cabo esta prueba con los fines más adecuados para el uso que le queremos dar.

También hemos extraído información de documentos y estudios que trataban de encontrar las características de trabajo de los morteros mezclados con sílice, es el caso de: Combined effect of superplasticizer, silica fume and temperature in the

Performance of natural hydraulic lime grout, y también de: Natural hydraulic lime based grouts – The selection of grout injection parameters for masonry consolidation.

Para poder ver y estudiar algún caso práctico, en el tema de la inyectabilidad, observamos: La inyección de cales en la consolidación de las fábricas, estudio e investigación aplicada en la Catedral de Sta. María de Vitoria-Gasteiz.

Para acabar con las bibliografías estudiadas y orígenes de nuestro seguimiento, debemos decir, que también han sido consultadas páginas webs de fabricantes de morteros con usos similares, donde se extrajeron datos de catálogos, con el fin de comparar características tales como la densidad, fluidez, consistencia, tamaño máximo de partículas, y otros datos relevantes, para acercarnos más a las características que tan bien han funcionado en el campo de las consolidaciones de fábricas y mamposterías de arquitectura.

Éste proyecto, es seguimiento de un Trabajo de Fin de Grado de la estudiante Roser Puchol, llamado: “Desarrollo de material en base de cal, microsílice y nanosílice”, proyecto que surgió con la motivación de encontrar un material que podamos inyectar en los muros y paredes de edificios históricos a consolidar, con base de cal, y otros componentes como la sílice como puzolanas, como afirmamos anteriormente, esto nos permite prescindir del cemento, logrando un menor impacto sobre las construcciones ya existentes.

Después de un largo estudio, Roser pudo obtener unas dosificaciones muy satisfactorias en características como la resistencia, retracción y una compacidad similar a la de los PLM, que significaba, acercarnos a las características de los materiales más utilizados en éstas actuaciones, por lo tanto, dejaba un campo abierto para seguir estudiando otras características tan importantes como las nombradas anteriormente, como la búsqueda de unas dosificaciones óptimas de los diferentes materiales utilizados, y a partir de ahí estudiar otras características como la inyectabilidad, que es base en este tipo de aplicaciones.



FIG. 19: Preparación de la lechada (en pequeñas cantidades) para su posterior inyección



FIG. 20: Consolidante de piedra natural porosa a base de ácido silícico de la casa Reventón



FIG. 21: Reparación de las juntas del mosaico mediante la inyección de material consolidante

3.3 CONSOLIDANTES ACTUALES

En esta búsqueda de las características y propiedades de nuestro material, no podemos obviar el hecho de que existen materiales similares en el mercado, tampoco podemos obviar que por sus características éstos materiales, unos más que otros, han tenido éxito en el campo estudiado, por lo tanto en este apartado hacemos una mirada a éstos consolidantes para poder acercarnos un poco más a nuestras pretensiones de creación, a continuación se explicaran los diferentes productos clasificados por su naturaleza, existentes en el mercado y las ventajas e inconvenientes que se presentan cuando se habla de realizar consolidaciones.

3.3.1 CONSOLIDANTES INORGÁNICOS:

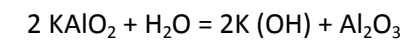
Son sustancias de naturaleza inorgánica, que su acción es debida a la precipitación de un material sólido en el sistema capilar que cementa los minerales y granos de la roca. Puede verificarse además una reacción química entre los constituyentes minerales del material pétreo (granos minerales y/o matriz y/o cemento) y el material consolidante.

Podemos decir que el principal inconveniente que presenta esta tipología de consolidantes es la baja capacidad de penetración que deriva en la formación de costras superficiales y duras de material consolidante. La principal ventaja es que la naturaleza química y física, que es muy similar a la que presentan los materiales utilizados en la gran mayoría de los elementos construidos en la antigüedad, y que por lo tanto son susceptibles de ser consolidados en la actualidad.

A continuación se detallan las tipologías de consolidantes de origen inorgánico existentes en el mercado:

Aluminato de potasio:

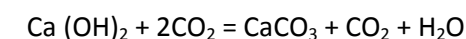
Este producto (KAlO_3) se hidroliza produciendo hidróxido de K ($\text{K}(\text{OH})$) y alúmina (Al_2O_3):



La alúmina forma enlaces con la superficie de los cristales minerales, siendo un compuesto escasamente soluble y poco reactivo. Sin embargo, la formación de $\text{K}(\text{OH})$ como producto de reacción puede ser contraproducente, ya que pueden formarse sales solubles e higroscópicas, tales como carbonatos de K y ulteriormente sulfatos de K.

Hidróxido de calcio:

Este tipo de consolidante es un método poco utilizado a causa de su escasa tasa de penetración. Se emplea en forma de soluciones o de suspensiones acuosas. El consolidante o el producto cementante y que por lo tanto aglutina las partículas, es el carbonato cálcico de la CaCO_3 , formado por la reacción entre el hidróxido cálcico de la solución $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el dióxido de carbono CO_2 presente en la atmosfera, según la siguiente reacción;



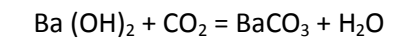
La principal ventaja de este producto en el caso de las rocas de origen calcáreo o de los cementos carbonatados es que el material aplicado se aproxima mucho a los procesos naturales y por lo tanto la afinidad física y química con el soporte es muy elevada.

Como principal inconveniente se puede citar; la tasa de penetración es muy escasa y que el proceso de carbonatación suele ser bastante lento debido principalmente a la necesidad de intercambio de CO_2 con el ambiente, hecho que si tenemos en cuenta que las consolidaciones se han de realizar al interior de las cavidades parece bastante improbable.

Hidróxido de bario:

Aunque fue un método ampliamente utilizado en el pasado y posteriormente abandonado, recientemente ha recobrado cierto interés.

Se basa en la reacción del hidróxido de Ba con el dióxido de carbono para formar carbonato de Ba, que presenta una solubilidad muy baja en agua, según la siguiente reacción;



El efecto consolidante se realiza por la facilidad de sustitución del Ba por el Ca en la estructura del carbonato dada la similitud de radios iónicos. De esta manera, el carbonato de Ba precipitado sobre un grano de calcita será mixto (i.e. $(\text{Ca}, \text{Ba})\text{CO}_3$), y el precipitado en el centro del poro o capilar será puro (BaCO_3). Esto supone una transición beneficiosa de características físico-químicas entre los granos de calcita y el cemento de carbonato de Ba.

Las ventajas de este tratamiento son la similitud química entre el material pétreo (siempre que sean calizas) y el consolidante, la similitud en los coeficientes de dilatación térmica y la baja solubilidad del carbonato de Ba. Además el tratamiento, ya que esta sal es también muy poco soluble (nótese que, en el caso de usar hidróxido de calcio, el carbonato de calcio se transformaría en yeso, sal soluble y bastante nociva). Así mismo, la porosidad del material pétreo se reduce solo parcialmente, por lo que se evitan deterioros ligados a las dificultades de evaporación del agua en los poros.

Una contraindicación de este método proviene de la posibilidad de blanqueamiento de la superficie por precipitación del carbonato de Ba. Esto puede resolverse eliminando el exceso de consolidante antes de la carbonatación (utilizando por ejemplo compresas con agua destilada). Además, y al igual que todos los consolidantes inorgánicos, no es posible sellar espacios vacíos mayores de unas 50 micras, por lo que solo es aplicable a materiales poco porosos.



FIG. 22: Otra de las aplicaciones de las resinas epoxi es el grapado de grietas



FIG. 23: Una de las aplicaciones de las resinas epoxi más empleadas en la actualidad



FIG. 24: Consolidante a base de resinas epoxi Araldyt AY 103-1

3.3.2 CONSOLIDANTES SILICO-ORGÁNICOS

Son monómeros que reaccionan en presencia del agua, formando durante este proceso sílice amorfa o una polisilosa, dependiendo de la naturaleza del monómero utilizado. Los silicatos de etilo y sodio, fluorsilicatos, Alquil – Alcoli - Silanos, y los Alquil – Aril - Polisiloxanos forman parte de este tipo de productos.

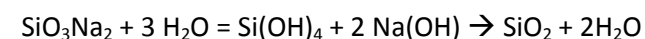
La principal ventaja de presentan es su alta capacidad de penetración. El defecto más importante que presenta este tipo de consolidante en la notable influencia de la humedad ambiental en el proceso de hidrólisis.

De todos los productos mencionados, los más extendidos y empleados actualmente son los silicatos de etilo.

Silicatos de sodio y etilo:

Este producto en presencia de agua se “hidrolizan”, dando lugar a hidróxido de Si ($\text{Si}(\text{OH})_4$) que precipita como sustancia amorfa o criptocristalina, ligándose al material pétreo mediante enlaces electroestáticos. Posteriormente, el hidróxido de deshidrata y polimeriza, formando sílice (SiO_2) amorfa.

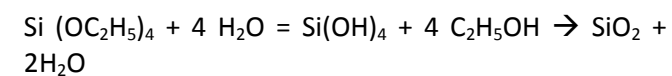
Los compuestos a base de Si más comunes son el silicato de Na y el silicato de etilo. En el primer caso, pueden producirse sales de Na peligrosas para la piedra:



En la formación del producto secundario $2 \text{Na}(\text{OH})$, hidróxido sódico, encontramos uno de los mayores inconvenientes que presentan estos consolidantes. El compuesto $2 \text{Na}(\text{OH})$ puede reaccionar fácilmente con; el dióxido de carbono CO_2 presente en el ambiente y con el trióxido de sulfuro SO_3 presente en la atmosfera debido a por ejemplo a la combustión del carbono o del petróleo. La reacción entre el

producto secundario, $2 \text{Na}(\text{OH})$, y el CO_2 o SO_3 presentes en el ambiente da lugar a la aparición de sales solubles tipo carbonatos de sodio, Na_2CO_3 , que son muy nocivas para el material que se encuentra degradado. En la actualidad, este producto es muy poco utilizado.

En el segundo caso, el subproducto de la hidrólisis en el alcohol etílico, que es volátil y no crea problemas para la piedra:



En ocasiones es difícil obtener la hidrólisis ya que el proceso está fuertemente influenciado por la humedad relativa del ambiente. Aunque la hidrólisis viene facilitada por la presencia de ácidos (clorhídrico, fórmico, etc.), no deben utilizarse dado el peligro que suponen para las rocas calcáreas (no tanto para las silicatadas). La naturaleza y concentración del catalizador condiciona la velocidad de hidrólisis, y por lo tanto, la eficacia del tratamiento.

En la actualidad, el silicato de etilo comercialmente distribuido como consolidante (e.g. Wacker-OH), viene disuelto generalmente en etanol y con el catalizador añadido. Independientemente del catalizador utilizado, es importante garantizar una buena profundidad de penetración y por lo tanto impedir una rápida reacción. Esta es precisamente una de las ventajas de este producto, dada la baja viscosidad de la disolución y el bajo peso molecular del compuesto.

En general, la hidrólisis es relativamente lenta, por lo que el efecto del consolidante tarda unas semanas. Esto es una ventaja ya que pueden eliminarse fácilmente los residuos superficiales antes de que se produzca la precipitación del hidróxido de Si.

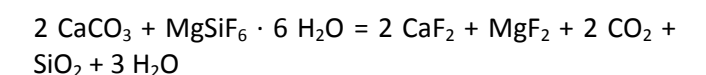
Por estas razones, el silicato de etilo es muy utilizado en la actualidad, sobre todo materiales silicatados con los que tiene una evidente afinidad. También da buenos resultados con las calizas dada la escasa reactividad de la sílice.

La naturaleza química de los compuestos orgánicos e inorgánicos de Si permite una buena acción consolidante, pero no ejercen acción protectora alguna en lo que respecta al agua, por lo que puede ser necesario utilizar un producto protector hidrofóbico. Si la hidrólisis es incompleta, pueden quedar restos de radicales C-H ($-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$) que permiten una cierta hidrofobicidad.

En superficies que posean cierto valor patrimonial, este tipo de consolidante está totalmente descartado.

Fluorsilicatos:

Las sales más utilizadas son las de magnesio y las de zinc. Se utilizan como consolidantes porque liberan sílice. En el caso de rocas carbonatadas, el ácido fluorhídrico reacciona CaCO_3 , generando fluoruro de calcio CaF_2 , y en caso de las rocas areniscas, reacciona formando fluosilicatos. Además en los dos casos se libera sílice durante la reacción.



El principal inconveniente de este tipo de consolidantes es que la baja penetrabilidad que tienen, debido principalmente a la rápida penetración de los productos insolubles. Esta baja tasa de penetración provoca la formación de una costra fina, dura y superficial que se desprende fácilmente debido a que la composición del consolidante es diferente de la del sustrato degradado. Por lo tanto, son compuestos cada vez menos utilizados.

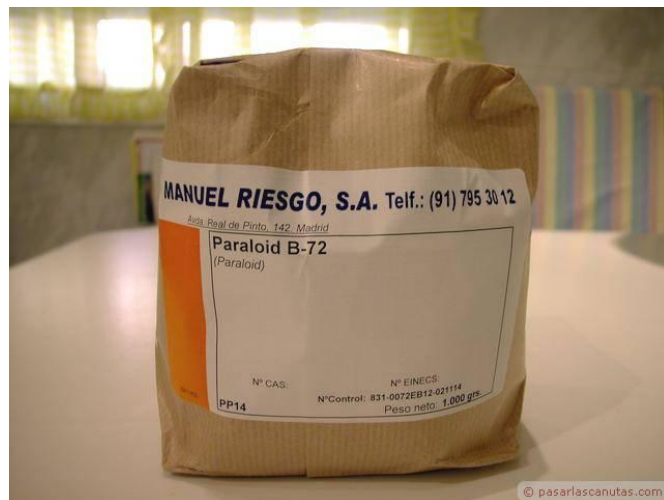


FIG. 25: Consolidante a base de Resinas acrílicas Paraloid B72 de la casa Rhom & Haas (USA)



FIG. 26: Consolidación de fachada de piedra calcárea mediante inyecciones de silicatos de etilo



FIG. 27 Consolidación de mampostería mediante inyecciones de resina epoxi para posterior grapado

Alquil-Alcoli-Silanos y Alquil-Aril-Polisiloxanos:

Son sustancias orgánicas en base de sílice. La acción consolidante se basa en la formación de una estructura reticular parecida a la sílice.

Los Alquil-Alcoli-Silanos se caracterizan por la presencia de radicales Si-C-H (Alquil) y Si-O-C (Alcoxi), siendo monómeros, prepolímeros o polímeros.

Los Alquil-Aril-Polisiloxanos presentan, además de los radicales Alquil, grupos aromáticos, esto es, anillos polímeros. El proceso de cerrados o bencénicos (Aril). En general son polímeros. El proceso de consolidación se consigue por medio de la hidrólisis, es decir, reaccionan con el H₂O y liberan alcohol; Posteriormente polimerizan, reaccionando los monómeros/prepolímeros hidrolizados y liberan H₂O.

Las principales ventajas que presentan estos productos son, en general: tienen poder consolidante y son hidrorepelentes, tienen buena estabilidad química, una baja tensión superficial y se mantienen estables con los cambios de temperatura.

El mayor inconveniente que presentan es con las rocas de origen cálcico, dado que se ha demostrado que forman una película adentro de la red capilar pero no se enganchan. Por lo tanto, podríamos decir que tienen un efecto de protección y no consolidante.

3.3.3 CONSOLIDANTES ORGÁNICOS

Todos los consolidantes orgánicos son polímeros sintéticos, obteniéndose sus moléculas a partir de la unión de moléculas más pequeñas de monómeros. Los monómeros de partida pueden tener la misma fórmula o pueden ser diversos, obteniéndose en el primer caso homopolímeros y en el segundo copolímeros, que están constituidos por dos o tres monómeros distintos. Los monómeros deben ser suficientemente reactivos, y la polimerización debe realizarse de manera controlada, en general bajo la presencia de oportunos catalizadores.

Además su poder consolidante se caracteriza por producir un efecto hidrófugo sobre el material tratado. Eso es debido a su composición orgánica.

Pueden aplicarse en forma de polímeros diluidos con un disolvente apropiado o en forma de monómeros, en estado líquido o disueltos. En estos dos casos, después se produce una polimerización del producto en el interior del material tratado.

Resinas acrílicas:

Son resinas termoplásticas, obtenidos por la polimerización del ácido acrílico (C₃H₄O₂), del ácido metacrílico (C₄H₆O₂) y sus derivados.

Las características de estos polímeros son muy variadas, dependiendo del tipo de monómero y del peso molecular del polímero. La mayor parte de las resinas acrílicas son solubles en solventes orgánicos y tienen una buena resistencia al envejecimiento en general y a los agentes químicos y a la luz en particular. El poder adhesivo es bueno, aunque al ser polímeros termoplásticos no son resinas estructurales.

Los principales inconvenientes son: la baja penetración, un coeficiente de dilatación muy diferente al de los materiales empleados tradicionalmente que pueden crear tensiones internas, una sensibilidad considerable a la presencia del agua y un poder hidrorepelente limitado.

Entre las resinas acrílicas más utilizadas se pueden nombrar el Paraloid B72, un copolímero constituido por metilmetacrilato y etilmetacrilato, producido por la empresa Rhom & Haas (USA), y el Bedacryl 122X, un polibutylmetacrilato de la I.C.I. (UK).

Polietilenglicoles y Polioxietileno:

Son polímeros termoplásticos obtenidos por la polimerización del óxido de etileno. Presentan bastante resistencia química a la luz. Según su peso molecular son solubles en agua y en varios solventes,

y más o menos fluidos a temperatura ambiente. Por estas razones no son comúnmente empleados en la consolidación de materiales pétreos, aunque sí en el tratamiento de maderas embebidas en agua.

Sin embargo, en el Museo Británico se han obtenido resultados interesantes con el uso de un polietilenglicol de alto peso molecular (PEG 6000) en la consolidación de pequeñas esculturas de calizas porosas. Su aplicación es fácil y es reversible, y parece mejorar las características de los objetos a conservar en ambientes cerrados, sometidos a condiciones climáticas poco severas (interiores de museos).

Resinas Epoxi:

Son resinas termoestables obtenidas por la reacción entre los monómeros o prepolímeros, con al menos dos grupos epoxídicos y son una sustancia de endurecimiento que contiene: grupos amínicos NH₂ o grupos de ácidos COOH o sus derivados, que reaccionan con los grupos epoxídicos formando enlaces entrecruzados.

Las ventajas principales son: las resinas epoxídicas tienen una gran resistencia química (sobre todo los álcalis), resisten bien al agua y los solventes orgánicos.

Sin embargo, los principales inconvenientes son: una mala resistencia a la luz solar (se polimerizan superficialmente) y hasta han llegado a producir cambios de color en los materiales tratados; grandes resistencias mecánicas finales que afectan a los materiales tradicionales, creando tensiones, mala penetración debido a la alta viscosidad y un coeficiente de dilatación muy diferente a los materiales tradicionales, que pueden llegar a generar tensiones demasiado elevadas.



FIG. 28: Reparación de las juntas dañadas mediante la mezcla previamente preparada



FIG. 29: Estuco desprendido de la fachada de un edificio



FIG. 30: Reparación de la fachada dañada con el empleo de un andamiaje

Las resinas epoxídicas han sido utilizadas en grado y resultados variables como consolidantes. En Italia, por ejemplo, su uso ha sido limitado y en algunos casos los resultados han sido contraproducentes. Así, el uso de Araldyt AY 103 en algunos monumentos venecianos llevados a cabo a principios de los años 70 produjo ya después del primer año de tratamiento cambios significativos de color y roturas superficiales. En otros casos, los resultados pueden considerarse moderadamente satisfactorios.

Un uso más generalizado es su utilización en maltas y morteros para fijar fracturas y cavidades, o como adhesivo para unir las partes rotas. En particular, para este tipo de aplicaciones se ha desarrollado una resina epoxídica parcialmente modificada por la mezcla con una resina silicónica como el Rhodorsil 1330 C de la Rhône Poulenc.

De la breve descripción de los productos y de sus ventajas e inconvenientes deriva una conclusión; en el mercado ya existen productos, como es el silicato de etilo, que puede dar muy buenos resultados con materiales, ya sean rocas o morteros, que sean de origen areniscos o que en su composición presenten silicatos. Pero ninguna parece el mejor a priori para la consolidación de materiales de origen calcáreo (por origen calcáreo se entiende que son productos que en su composición disponen de CaCO_3 , carbonato cálcico).

De todos los productos mencionados, el que parece más idóneo para la realización de consolidaciones en materiales de origen calcáreo son los consolidantes de tipo inorgánico a base de hidróxido de calcio. Por lo tanto, en el presente proyecto se busca crear un nuevo producto cálcico, pero mejorando las prestaciones de estas e intentando minimizar sus inconvenientes.



FIG. 31: Reparación de la grieta mediante resinas epoxi



FIG. 32: Consolidación de la torre Bofilla de Bétera (Valencia) mediante la inyección a baja presión de Limepor IZ8

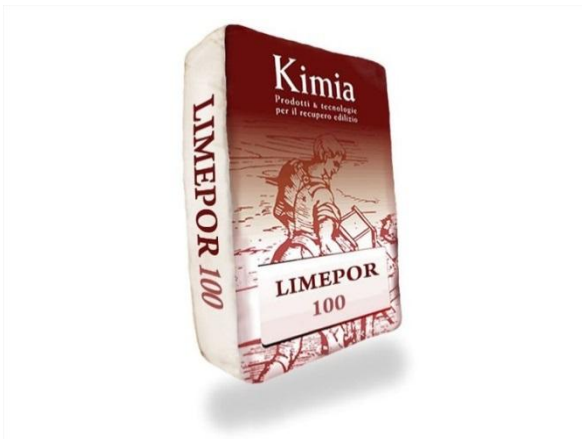


FIG. 33: Consolidante a base de cal hidráulica Limepor 100 de la casa Kimia

3.3.4 PRODUCTOS CARACTERÍSTICAS SIMILARES EN EL MERCADO:

Como afirmábamos anteriormente, hemos estudiado las características y propiedades de productos ya existentes, para poder acercarnos en ésta búsqueda, a los ideales en tema de propiedades, por lo tanto a continuación se mencionaran los nombres y marcas de algunos de los distintos productos que encontramos, así como sus principales características a la hora de realizar consolidaciones:

Limepor 100:

Composición:

- Cal hidráulica natural (NHL)
- Puzolana
- Rellenador carbonatado

Utilización:

Se utiliza para la regeneración y consolidación de mamposterías huecas antiguas de ladrillos o de piedra, en particular de corte, mediante el inyectado a baja presión.

Ventajas:

- Elevada fluidez con baja relación agua/aglomerante.
- Permite un comportamiento estructural homogéneo e isotrópico de la mampostería saneada.
- Bajo tenor de sales hidrosolubles.
- Alta transpirabilidad.
- Elevado poder de penetración.
- Ausencia de segregación.
- Menor deterioro de los equipos.
- Compatibilidad química con los productos empleados en los edificios históricos.

- Mejora del comportamiento estático y dinámico de la estructura.
- Reducida retracción hidráulica.

Características:

Características	Valor
Aspecto	Producto en polvo
Color	Matices gris claro - avellana
Temperatura de aplicación	+2 - + 35°C
pH en dispersión acuosa	11,5- 12,5
Distribución granulométrica UNI EN 1015-1 (pasante a 0,09 mm)	100 %
Distribución granulométrica UNI EN 1015-1 (pasante a 0,06 mm)	90 %
Fluidez (consistencia mediante canaleta) UNI 8997	70 – 80 cm
Masa volúmica aparente del mortero fresco UNI EN 1015-6	1930 ± 50 Kg/m3
Tiempo de trabajabilidad de la masa fresca UNI EN 1015-9	195 ± 30 minutos
Resistencia a compresión en 7 gg UNI EN 1015-11	> 14 MPa
Resistencia a compresión en 28 gg UNI EN 1015-12	> 18 N/mm2
Resistencia a flexión en 7gg UNI EN 1015-11	> 2 MPa
Resistencia a flexión en 28 gg UNI EN 1015-11	> 4 MPa

Aplicación:

- Debe de ser mezclado aproximadamente con un 30% de agua potable (5,5 - 6,5 litros de agua potable por cada envase de 20 Kg).
- No añadir nada más a partir del mezclado de la masa.
- Debe de ser inyectado mediante bombas normales (manuales o eléctricas) en la mampostería, desde los agujeros inferiores hacia los superiores.
- En mamposterías pintadas, emplease LIMEPOR I78.

Advertencias:

- Antes de usarlo, comprobar que el envase está cerrado.
- No usar el producto con grumos.



FIG. 34: Consolidación realizada de la torre Bofilla de Bétera (Valencia) mediante productos Limepor



FIG. 35: Consolidante a base de silicato de etilo indicado como consolidante y preconsolidante de materiales petreos de la casa Estel 1000

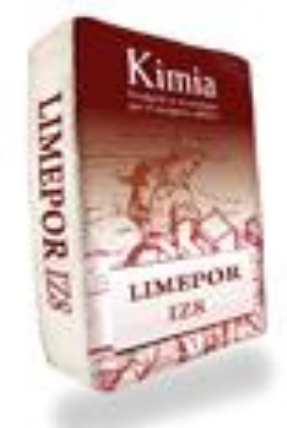


FIG. 36: Consolidante a base de cal hidráulica Limepor IZ8 de la casa Kimia

Limepor I78:

Composición:

- Cal hidráulica natural (NHL)
- Puzolana (metacolín de alta reactividad)
- Rellenador carbonatado seleccionado con granulometría muy fina

Utilización:

Se utiliza para la regenerar y consolidar las cortinas de mampostería a cara vista, incluso con frescos mediante la inyección a baja presión.

Ventajas:

- Ausencia de sales solubles.
- Elevada fluidez con baja relación agua/aglomerante.
- Comportamiento estructural homogéneo e isótropo de la mampostería saneada.
- Reducción del anhídrido carbónico emitido.
- Ausencia total e componentes de cemento (Alita C3S y Belita B-C2S).
- Alta transpirabilidad.
- Elevado poder de penetración con la consiguiente saturación de las pequeñas fisuras u oquedades.
- Ausencia de segregación en la mezcla
- Menor deterioro de los equipos.
- Compatibilidad química con los productos empleados en los edificios históricos.
- Mejora del comportamiento estático y dinámico de la estructura.

- Se coloca de una manera muy fácil.

Características:

Características	Valor
Aspecto	Producto en polvo
Color	Blanco
Temperatura de aplicación	+2 - + 35°C
pH en dispersión acuosa	11,5- 12,5
Distribución granulométrica UNI EN 1015-1 (pasante a 0,10 mm)	100 %
Distribución granulométrica UNI EN 1015-1 (pasante a 0,01 mm)	40 %
Fluidez (consistencia mediante canaleta) UNI 8997	80 – 87 cm
Masa volúmica aparente del mortero fresco UNI EN 1015-6	1840 ± 50 Kg/m ³
Tiempo de trabajabilidad de la masa fresca UNI EN 1015-9	255 ± 30 minutos
Resistencia a compresión en 7 gg UNI EN 1015-11	> 5 MPa
Resistencia a compresión en 28 gg UNI EN 1015-12	> 9 N/mm ²
Resistencia a flexión en 7gg UNI EN 1015-11	> 1,4 MPa
Resistencia a flexión en 28 gg UNI EN 1015-11	> 1,7 MPa
Contenido de sales hidrosolubles normal 13/83	< 0,07 %

Aplicación:

- Debe de ser mezclado aproximadamente con un 33% de agua potable (4,8 - 5,5 litros de agua potable por cada envase de 15 Kg).
- No añadir nada más a partir del mezclado de la masa.
- Debe de ser inyectado mediante bombas normales (manuales o eléctricas) en la mampostería, desde los agujeros inferiores hacia los superiores.
- No volver a mezclar el producto añadiendo agua una vez iniciado su fraguado.

Advertencias:

- Antes de usarlo, comprobar que el envase está cerrado.
- Producto destinado a uso profesional.
- No usar el producto con grumos.



FIG. 37: Trabajos de limpieza y consolidación en San Blaudelio



FIG. 38: Consolidante a base de cal hidráulica natural Limepor IZ 4 de la casa Kimia



FIG. 39: Consolidación de los lienzos Sert

Limepor I74:

Composición:

- Cal hidráulica natural (NHL)
- Puzolana (metacolín de alta reactividad)
- Rellenador carbonatado seleccionado con granulometría muy fina

Utilización:

Se utiliza para consolidar y encolar, mediante inyección, de revocos pintados al fresco desprendidos del soporte mural.

Ventajas:

- Producto ligero (de bajo peso específico).
- Ausencia de sales solubles.
- Elevada fluidez con baja relación agua/aglomerante.
- Comportamiento estructural homogéneo e isótropo de la mampostería saneada.
- Reducción del anhídrido carbónico emitido.
- Ausencia total e componentes de cemento (Alita C3S y Belita B-C2S).
- Elevado poder de penetración con la consiguiente saturación de las pequeñas fisuras u oquedades.
- Ausencia de segregación en la mezcla.
- Compatibilidad química con los productos empleados en los edificios históricos.
- Mejora del comportamiento estático y dinámico de la estructura.

- Se coloca de una manera muy fácil.

Características:

Características	Valor
Aspecto	Producto en polvo
Color	Blanco
pH en dispersión acuosa	11,5- 12,5
Distribución granulométrica UNI EN 1015-1 (pasante a 0,10 mm)	100 %
Distribución granulométrica UNI EN 1015-1 (pasante a 0,01 mm)	40 %
Fluidez (consistencia mediante canaleta) UNI 8997	65 – 75 cm
Masa volúmica aparente del mortero fresco UNI EN 1015-6	1790 ± 50 Kg/m ³
Tiempo de trabajabilidad de la masa fresca UNI EN 1015-9	240 ± 30 minutos
Resistencia a compresión en 7 gg UNI EN 1015-11	> 3 MPa
Resistencia a compresión en 28 gg UNI EN 1015-12	> 5 N/mm ²
Resistencia a flexión en 7gg UNI EN 1015-11	> 1 MPa
Resistencia a flexión en 28 gg UNI EN 1015-11	> 1,2 MPa
Contenido de sales hidrosolubles normal 13/83	< 0,07 %

Aplicación:

- Debe de ser mezclado aproximadamente con un 37% de agua potable (1,8 – 1,9 litros de agua potable por cada envase de 25 Kg).
- No añadir nada más a partir del mezclado de la masa.
- Se ha de dejar reposar la mezcla durante unos 10 minutos e inyectar con unas jeringas adecuadas.
- No volver a mezclar el producto añadiendo agua una vez iniciado el fraguado.

Advertencias:

- Antes de usarlo, comprobar que el envase está cerrado.
- Producto destinado a uso profesional.
- No usar el producto con grumos.



FIG. 40: Consolidante a base de cal hidráulica natural MAPE-ANTIQUE I de la casa MAPEI

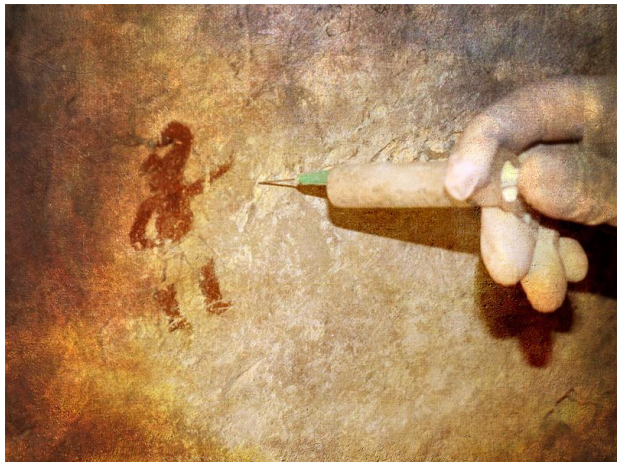


FIG. 41: Consolidación de mural histórico mediante la inyección de material consolidante



FIG. 42: Producto MAPE-ANTIQUE preparado listo para la puesta en obra

MAPE – ANTIQUE I:

Composición:

- Cal hidráulica natural (NHL)

Utilización:

Se utiliza para consolidar la estructura del edificio histórico (muros, pilares, cimentaciones, bóvedas).

Características:

- Mezclada con agua (40 %) produce una pasta fluida y estable, capaz de rellenar las cavidades de las estructuras a consolidar y endurecer gradualmente sin provocar tensiones peligrosas en los ladrillos, la sillería o las argamasas preexistentes.
- El mezclado de la masa se realizará durante 5 minutos y con agua, con una amasadora de altas revoluciones o con un taladro provisto de mezclador apropiado hasta obtener una pasta fluida como una crema (sin disgregación).
- Se empleara a los 30 minutos de su mezcla.
- En caso de demora, es posible reestablecer la fluidez inicial añadiendo agua en cantidad no superior al 10% de la inicial, remezclándolo a altas revoluciones.

Contraindicaciones:

- No emplear para confeccionar morteros para revoco o rejuntado de edificios históricos (utilizar MAPE – ANTIQUE LC, MC o CC).
- No agregar cemento u otros aglomerantes (cal o yeso).
- No añadir aditivos, arenas o finos.
- No aplicarlo a temperaturas inferiores a + 5°C.

Forma de aplicación de la masa:

- Antes de su aplicación es preciso saturar con agua toda la estructura interna a consolidar el día anterior, permitiendo así la eliminación del exceso de agua.
- Las perforaciones deberán de distribuirse simétricamente, en los vértices de una cuadrícula de 50 a 100 cm.
- En las estructuras de espesor inferior a 60 cm, deben hacerse únicamente en un lado, mientras que en aquellas con espesor superior es conveniente inyectar en ambos lados.
- A los taladros (diámetro 3 – 4 cm) horizontales o inclinados, se le acoplan unas boquillas de plástico de 10 – 15 mm de diámetro, a través de las cuales se inyectará la lechada a presión (máximo 3 Atm).
- El amasado se hace mezclando durante 5 minutos MAPE-ANTIQUE I y agua con una amasadora de altas revoluciones o con un taladro provisto de un mezclador apropiado hasta obtener una pasta fluida como una crema, pero sin disgregación.
- La lechada de MAPE-ANTIQUE I debe de ser utilizada, para consolidar las estructuras, a los 30 minutos de su mezcla. En caso de demora, es posible reestablecer la fluidez inicial añadiendo agua en cantidad no superior al 10% de la inicial y remezclando nuevamente a altas revoluciones.

Datos técnicos:

Características	Valor
Aspecto	Polvo
Color	Claro
Volumen de la masa en seco	2,85 kg/l
Volumen de la masa en mojado	1,25 kg/l
Diámetro máximo	100 µm
Conservación	12 meses en lugar seco en embalaje original cerrado
Nocividad según L88/379 CEE	Adoptar las mismas precauciones previstas para los productos cementosos
Inflamable	No
Partida arancelaria	3824 50 90
Sales alcalinas hidrosolubles	<0,0%
Masa volumétrica: MAPE-ANTIQUE I Agua	1,285 kg/m ³ 515 kg/m ³
Volumen de la masa	1,800 kg/m ³
Tiempo de evacuación de un litro de lechada en el cono de Marsh	< 30 segundos
Disgregación	Nula
Resistencia mecánica a compresión: 3 días 7 días 28 días	9 MPa 11 MPa 12 MPa



FIG. 43: Recipiente metálico con pastada recién extraída de la mezcladora



FIG. 44: Prueba de inyección en el simulador de paramento

Resistencia mecánica a flexión:	
3 días	2 MPa
7 días	3 MPa
28 días	4 MPa
Módulo elástico-dinámico:	
3 días	8.000 MPa
7 días	10.000 MPa
28 días	11.000 MPa
Eflorescencias	Ausentes
Color	Amarillo - ocre

4 PROPIEDADES DESEADAS EN UN BUEN CONSOLIDANTE

Una vez estudiados los diferentes materiales existentes, así como los estudios de referencia consultados, nos centraremos en estudiar las características y propiedades que varias veces hemos destacado anteriormente, pero nos adentraremos en cada una de ellas para detallar y precisar más.

También podremos observar las faltas y virtudes de este tipo de morteros con base de cal y los derivados del carbonato cálcico.

Debemos empezar diciendo que a un buen consolidante se le exigen las buenas características de los productos de restauración agregándole algunas prestaciones para lograr buenas consolidaciones, para hablar en nombre de propiedades, podemos nombrar a la trabajabilidad, una buena inyectabilidad, que también podemos definirla como la capacidad de penetración a través del paramento, una buena distribución del producto, formación de sales, densidad, permeabilidad, compacidad o una fluidez que pueda ser adecuada para este tipo de actuaciones, así como la absorción de agua por capilaridad, coloración, cohesión y adherencia al material de soporte, módulo elástico,

dilatación y retracción, compatibilidad química con el material de origen, también veremos características como la forma de expandirse por dentro del paramento, y otras propiedades que iremos nombrando.

4.1 TRABAJABILIDAD

Éste factor fundamental en el uso de éste material nos hace situarlo como uno de las principales características a tener en cuenta, para realizar una buena puesta en obra de la lechada, y ejecutar la actuación de restauración correctamente.

Podemos definirla como la facilidad de manipulación de una mezcla, ya sea una pasta, lechada, mortero, hormigón, etc., para ponerla en obra.

Uno de los materiales que actúan en esta característica es el agua o cualquier tipo de diluyente, y su porcentaje respecto al resto de materiales, ya que podremos cambiar la viscosidad y trabajabilidad a través de su porcentaje, y a tener en cuenta, posteriormente, que éste material se evaporará, por lo tanto desaparecerá y al realizar éste proceso puede dejar fenómenos físicos como las retracciones.

Desde que realizamos la mezcla, llegando a una consistencia y viscosidad deseada, el material final para la consolidación, va perdiendo agua, ya que los materiales encargados de darle esa resistencia deseada empiezan a hacer sus respectivas reacciones, por lo tanto desde que terminamos de mezclar, la lechada ya va perdiendo agua en mayor o menor medida y va cambiando propiedades como son la consistencia y viscosidad, ya que pierde fluidez y esto afecta directamente a la trabajabilidad.

Si nos ponemos en la práctica de éstas actuaciones, podemos observar que cada una es diferente, es decir, los tiempos de colocación y de preparación pueden cambiar según la situación (ambiente, lugar de la actuación, mayor o menor dificultad de puesta en obra, etc) por lo tanto necesitaremos tiempos diferentes de puesta en marcha de nuestras

consolidaciones, y es otro factor que depende de la trabajabilidad, pondremos el ejemplo, de las actuaciones de carácter patrimonial, donde las actuaciones de preparación y puesta en obra, necesitan de unos tiempos más elevados que otros tipos de actuaciones en consolidaciones normales, por lo tanto, el rendimiento de la mano de obra será más bajo, y en este caso, también tendremos que planificar por ejemplo la cantidad de pasta a realizar en cada mezcla, ya que no podremos disponer de grandes mezclas con un tiempo de trabajo lento, porque nuestra lechada empezaría a perder esas condiciones óptimas para ser trabajada.

Si hablamos de precios, las obras de carácter patrimonial e históricas, tienen valores más elevados, sobre todo por el rendimiento de mano de obra bajo que apuntábamos anteriormente, y también por la especialización del operario que realiza dicha actuación, y con diferencia de actuaciones en obra nueva (que se prima el metraje y tiempo de ejecución, en las obras de carácter históricos, es decir, restauraciones arquitectónicas, lo que prima es la calidad de acabado.

Dicho lo anterior, al hablar de inyecciones del material estudiado, se entiende que se trata de un tiempo de aplicación mayor si lo comparamos por ejemplo con una actuación de aplicación de mortero de rejuntado en una obra nueva.

A continuación explicaremos los diferentes factores que forman parte de ésta característica tan importante que llamamos trabajabilidad:

CONSISTENCIA: la definimos como la coherencia de las partículas que constituyen una masa, y depende mucho de la proporción de agua que contiene. Es una característica definida en la UNE EN 1015-3, y se valora según la fluidez de la pasta. En donde podemos descartar las consistencias secas y demasiado fluidas por tratarse de ejemplos poco trabajables en el caso de la primera, y por producir problemas de altas porosidades y retracciones en el caso de las segundas (SEPULCRE, A. 2005)

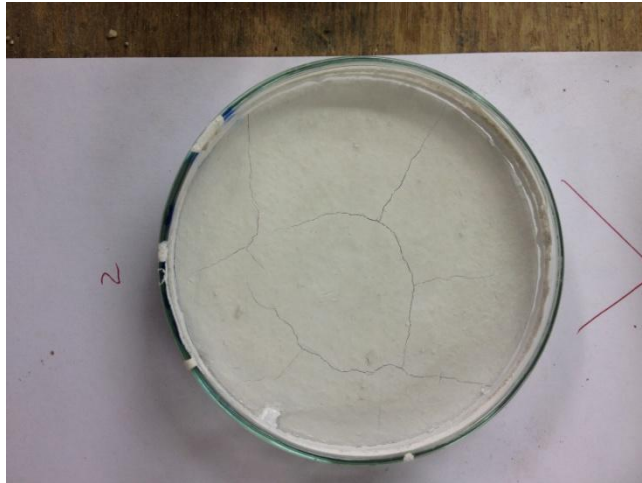


FIG. 45: Observación de material de estudio endurecido en placa petri



FIG. 46: Preparación de material en recipiente de cristal

RETENCIÓN DE AGUA: Se le conoce a la capacidad de un material de poder retener el agua utilizada en el pastado en frente de los agentes externos (ambiente u otros materiales en contacto). Será un factor también clave, ya que si se logra un correcto porcentaje de agua según los otros materiales, podremos mantener una plasticidad adecuada de la pasta hasta el momento de su colocación y así maximizar los buenos resultados de la lechada, podremos observar ésta retención en la prueba de inyecciones en estado húmedo y seco.

4.2 TIEMPO ABIERTO

Como sabemos, el mortero es un material que va cambiando en todo momento, desde que realizamos la pastada, cuando se coloca, y una vez finalizado la puesta en obra, el material va cambiando de estado, tanto físicamente como químicamente, pero en el tiempo en donde estamos trabajando con la pasta, necesitamos que mantenga unas condiciones tolerables, por lo tanto, se tiene que definir en cada mortero, su tiempo abierto, en el cual el operario puede trabajar la pasta sin que ésta altere sus condiciones óptimas.

Esta propiedad la podemos estudiar por ejemplo con un estudio de la viscosidad de la pasta, en donde podemos ver el cambio de ésta característica en un período de tiempo y ver si se mantiene constante.

4.3 PENETRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Otro aspecto muy importante tratándose de un material inyectable será la habilidad de penetración y distribución de la misma, incluso algunos autores afirman que se trata de una característica tan esencial que puede llegar a condicionar la idoneidad de un producto en frente de otro.

Podemos definir esta característica como el grado de penetrabilidad de una cierta pasta dentro del elemento a tratar. En el caso de ésta propiedad es conveniente comparar con materiales base para entender el concepto, es decir, un material x penetra y se distribuye mejor que un material y.

Para estudiar ésta característica, tenemos dos ensayos, el primero, adaptado de la norma UNE EN 1771, en el que inyectamos a presión constante una pasta a través de un tubo cilíndrico lleno de árido, y el segundo, un ensayo ideado por nosotros, en el que hemos creado una simulación de un paramento, en metacrilato, en el que lo llenamos del árido deseado e inyectamos para observar cómo se expande y distribuye por dentro del paramento, de ésta forma podemos observar la tendencia de la pasta al pastar entre el árido, y así tomar datos para determinar las mejores zonas para inyectar.

Con esta propiedad, buscamos que la distribución sea la más homogénea posible para lograr una consolidación satisfactoria, y referente a la penetración, lo que se busca, es que el material llegue a toda la profundidad del paramento.

Si no se dieran los ideales seguidos que hemos nombrado en los párrafos anteriores, se producirían discontinuidades en las consolidaciones, efecto negativo en los resultados ya que la actuación no se tendría el mismo resultados en unas zonas que otras, quedando las zonas discontinuas más débiles, pudiendo dar lugar a futuras grietas, huecos, y problemas de tipos físicos como resistencias dispares que podría producir una aún mayor degradación en el elemento de origen (PRICE, 1975).

Uno de los factores claves que tenemos que trabajar para lograr una penetrabilidad buena es la Viscosidad de la pasta, que podemos definirla como la oposición frente a deformaciones tangenciales. El hecho de que una mezcla sea poco viscosa quiere da lugar a una mayor capacidad de penetración, ya que cuanto menos oposición a las deformaciones tangenciales, mayor facilidad para ser inyectado. Por lo tanto, después de ésta reflexión podremos decir que el producto buscado deberá tener una viscosidad baja.

Para conseguir una viscosidad baja tenemos que estudiar que depende ésta característica, y eso es lo que explicaremos a continuación:

Uno de los factores que afecta a la viscosidad es la concentración de conglomerante, hablamos de disoluciones, ya que nuestro material se encuentra diluido en agua, por lo tanto, la concentración de conglomerante que se puede asimilar a la relación agua/conglomerante afecta a la viscosidad del producto final, cuanto más agua, mayor fluidez en el resultado y menor viscosidad también. Al entrar en el tema del porcentaje de agua hay que tener en cuenta que no podemos traspasar ciertos límites, por ejemplo, mucha agua significará unas pérdidas de resistencias finales y unas retracciones mayores, que no deseamos, por lo tanto una de las piezas fundamentales de este proyecto es buscar el valor óptimo de la relación agua/conglomerante.

El otro factor que afecta a la viscosidad es la densidad de la pasta, que va unida directamente con la cantidad de conglomerante (a mayor conglomerante, mayor densidad, mayor viscosidad).

4.4 DENSIDAD

Como acabábamos en el párrafo anterior, la densidad forma parte del resultado final de la penetración y distribución de una pastada en un determinado paramento, entendemos que cuanto más pesada y densa sea una mezcla más difícil será que pase entre los huecos y capilares del árido. Con esto podemos decir que en nuestro caso, nos interesa conseguir un producto poco denso o por lo menos con una densidad lo más baja posible, aunque estaremos limitados por el hecho del peso del conglomerante que es un factor determinante y juega un papel muy importante en la densidad de una lechada.

Podemos definir dos tipos de densidad:

- Densidad aparente: definida como la relación entre el peso y el volumen total
- Densidad real: definida como la relación entre el peso y el volumen total restando los poros o agujeros.

Ésta última afecta directamente en la durabilidad del material, ya que cuanto más agujeros, vacíos y poros en el interior, menor durabilidad.

Éstos huecos favorecen el paso de agua en el material y el agua trae consigo las ya conocidas lesiones de materiales de origen pétreos, por lo tanto debemos vigilar éste aspecto.

Además debemos partir desde la base que al realizar una restauración hay un elemento existente con unas características determinadas como la densidad, que debemos intentar igualar con nuestro producto.

Para concluir con éste apartado cabe destacar que en este tipo de actuaciones buscamos materiales con una densidad real similar al material tratado y con una densidad aparente adecuada.

4.5 SALES SOLUBLES EN AGUA

Ésta característica no será objeto de estudio en éste proyecto ya que se ha estudiado en el proyecto inicial de Roser Puchol, pero cabe comentar algunas cuestiones de suma importancia.

Las sales suponen uno de los principales factores en lesiones de materiales pétreos. Éstas, procedentes de diferentes lugares, pueden acumularse en las zonas de evaporación del material, que según su solubilidad, pueden depositarse en diferentes zonas, si ésta es baja se depositarán en la superficie produciendo una capa superficial que según muchos autores sirve de protección, pero en el caso que sean sales a base de sulfatos, cloruros, nitratos o ácidos orgánicos puede significar un gran daño para el material de origen.

Al depositarse en el material, en el caso de los sulfatos, pueden producir eflorescencias en la superficie, y si estas no son tratadas puede tomar profundidad y depositarse en el interior del elemento, a continuación se secan, y al absorber humedad aumentan de volumen, dicho aumento puede crear tensiones que rompen y agrietan el material desde el interior. Por lo tanto se ha estudiado la presencia de sales en el conglomerante y la resistencia del mismo a sales externas.

4.6 PERMEABILIDAD Y TRANSPIRABILIDAD

Como la anterior característica, no es objeto del presente proyecto pero lo nombramos ya que se ha estudiado en el proyecto de referencia y forma parte de las características a tener en cuenta en nuestro producto.

La permeabilidad es la característica de un elemento de permitir el flujo de fluidos bajo presión a través de su red porosa, por lo tanto en nuestro caso, será la capacidad del mortero de permitir el paso de agua o fluidos por dentro de su red.

Si tenemos en cuenta lo dicho anteriormente que el agua es determinante en muchas lesiones en los materiales pétreos debemos tener control de la cantidad de agua que pasa por nuestro material para que éste no resulte dañado, por lo tanto se intentará que en el producto estudiado exista el menor paso de agua posible, es decir, aumentar su impermeabilidad.

Por otra parte está la transpirabilidad, que nos referimos a la capacidad de un material de permitir el paso de gases a través de su red porosa, por ejemplo, en nuestro caso, el vapor de agua.

Es imprescindible que un mortero tenga ésta capacidad ya que si no se acumularían humedades dando así los problemas que conlleva y que hemos nombrado anteriormente.

4.8 ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

Es la capacidad de atraer agua por sus capilares, y que se produce por la capacidad de algunos líquidos como el agua de subir en contra de la gravedad por los capilares, llamada CAPILARIDAD. Los líquidos, como el agua, poseen las propiedades de cohesión y adhesión debido a la atracción molecular. Esta cohesión es la responsable de que los líquidos puedan resistir distintas tensiones en la interfase entre el líquido y el aire, esta tensión se conoce como tensión superficial. La adhesión es la capacidad de los líquidos que les permite adherirse a otros cuerpos o materiales.

Si las moléculas líquidas tienen mayor fuerza de adhesión que de cohesión, entonces el agua tiene la capacidad de adherirse a las paredes de los elementos que la contiene, el resultado de esta adhesión es una elevación o aumento de agua conocido como aumento por capilaridad.

Por lo tanto, en nuestro caso, si la fuerza de adhesión del agua a las paredes de la red capolar es mayor que la cohesión de las moléculas del agua, se producirá una entrada de agua por capilaridad, además el agua asendereará por el capilar hasta que el peso de la columna de agua se equilibre con la tensión superficial, momento en que se quedará fijo en este nivel.

Como sabemos la entrada de agua es muy perjudicial para todo material pétreo por lo tanto debemos cortar el paso y entrada de agua. La característica principal que afecta a la absorción por capilaridad es el diámetro de los capilares, en nuestro caso, nos interesa que el diámetro de nuestros capilares sean lo más grandes posibles para evitar este flujo por capilaridad.

4.9 ASPECTO Y COLOR

Podríamos definir el color como la sensación o percepción visual producida por los rayos de luz, y que genera nuestro cerebro que es el encargado de recibir las señales y enviar foto receptores a la retina del ojo, que se encarga de distinguir las diferentes longitudes de onda de luz.

Por lo tanto en una intervención nunca se modifica la capacidad que tiene el cuerpo tratado sean una piedra o un mortero, de absorber o reflejar estas ondas electromagnéticas, es decir, el color del cuerpo. El cambio de color es prácticamente imposible sin afectar físicamente al material, que podría resultar procesos patológicos derivados a este cambio. Por lo tanto en resumen a éste apartado, no intentaremos cambiar el color del material ya que no nos interesa, porque es un material que ira oculta, y segundo, porque no queremos variar las prestaciones del material por cambiar su aspecto.

Por lo tanto no entraremos en discusiones de estética sino que dejaremos el color y aspecto natural del material.



FIG. 47: Retracciones observadas en una de las primeras dosificaciones



FIG. 48: Muestraas depositadas en recipientes pequeños para su posterior estudio



FIG. 49: Muestraas en placa petri con retracciones aceptables

4.10 COHESIÓN Y ADHESIÓN

La cohesión la podemos definir como la fuerza que mantiene unida a las moléculas de un sólido o fluido, en consecuencia de la atracción molecular entre las partículas en los mismos, cuando hablamos de cohesión hablamos de una característica intrínseca en cada material y que podemos decir que está determinada por la naturaleza del mismo.

La adhesión se define como el fenómeno físico en el que dos superficies son mantenidas juntas debido a fuerzas intermoleculares. La adhesión puede ser mecánica, electrostática o por atracción molecular, según el tipo de dependencia. Por tanto podemos entender que la adherencia es una capacidad que se produce entre dos elementos que no tienen por qué ser de la misma naturaleza, es decir, se puede producir entre una cerámica y un mortero de cemento.

Cuando hablamos de aportar una mejora en la cohesión se entiende que se persigue es que el material o el elemento que se trata, y que ha sufrido una degradación, y por tanto, una pérdida de capacidad de cohesión de sus partículas, vuelva al estado inicial, volver a darle la cohesión inicial a sus partículas.

La cohesión es una de las propiedades más importantes en la consolidación, dado que es su finalidad.

La adhesión, como en el caso de la cohesión, es muy importante en el campo de la consolidación (MAS, 2006). En muchos casos la arquitectura utiliza elementos que son heterogéneos, es decir que están formados por elementos de diferentes naturalezas. La utilización de elementos de diferentes naturalezas que tienen la capacidad de adherirse entre ellos es un factor clave para la evolución de la arquitectura y construcción.

Cuando se realiza una restauración o consolidación normalmente actuamos sobre elementos que tienen diferentes naturalezas, pero que en conjunto funcionan como uno solo, y tienen la capacidad de adhesión entre ellos, por lo tanto el nuevo material que tratamos deberá tener capacidad de adherencia en todos los materiales con los que haya de entrar en contacto, al material que se ha de tratar como a los materiales que se encuentre adherido al mismo.

Es cierto que hay casos como pueden ser la consolidación de rocas que lo más es necesario devolver la capacidad de adherencia de las propias partículas de la roca y por tanto el material tratado nomas ha de tener capacidad de adherencia a las partículas de la roca. Peor no es como norma general, dado que una pared de masonería formada además por rocas, normalmente por la disposición y asentamiento de las mismas, tiene juntas de material, normalmente morteros.

En este caso le produciríamos una nueva enfermedad a la roca, dado que resbalará sobre las juntas, pero no trabajará y por lo tanto no actuara como un solo elemento con el mortero de las juntas.

Por lo tanto buscamos un material consolidante que tenga la capacidad de devolverle la cohesión a las partículas del material degradado y que además tenga capacidad de adherirse tanto al material degradado como a todos aquellos materiales que estén en contacto con el mismo.

4.11 MODULO ELÁSTICO

El modulo elástico o módulo de Young es el parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en que se le aplica la fuerza. Es por tanto un dato importante, que nos proporciona información sobre la capacidad de deformación de un elemento o material.

El modulo elástico de un material que se utilice en consolidación tiene que ser lo más similar posible al del material tratado (HEES V., 2000), dado que en caso contrario produce tensiones en el material más deformable.

Ponemos el ejemplo que consolidamos un mortero de cemento de cal, con una elasticidad determinada, con un mortero de cemento portland, el cual presenta unos valores de elasticidad muy menores, y por lo tanto es menos deformable. En el momento en que el mortero de calcio intente deformarse bajo una presión el mortero de cemento le impedirá esta deformación y le creara tensiones que pueden acabar produciendo una rotura del mortero de cal, que en este caso es menos rígido y por tanto más deformable.

Si además añadimos el hecho que mortero de cal esta degradado, el abasto de la degradación será mucho mayor, dado que el mortero ha perdido parte de su capacidad resistente, Si además añadimos el hecho que mortero de cal esta degradado, el abasto y cualquier tensión agregada le puede producir mayores alteraciones que en su estado original.

Por lo cual buscamos obtener un consolidante que tenga un módulo de elasticidad muy similar a los morteros de cal, dado que las consolidaciones se realizan en materiales de origen calcáreo.

4.12 DILATACIÓN/RETRACCIÓN

La dilatación térmica se puede definir como aumento de volumen y de dimensión de un cuerpo, en nuestro caso el elemento a consolidar, por efecto del calor, sin modificación de la naturaleza ni del estado del material.

La retracción térmica es el encogimiento o reducción de volumen que experimenta un cuerpo por efecto del calor.

La dilatación y retracción termia son dos comportamientos opuestos, en el proceso de dilatación se produce un aumento de volumen y en el de retracción una disminución.

Si hablamos de contracción y dilatación similares al material tratado, se hace referencia a que la pérdida o ganancia de volumen del consolidante, tiene que ser igual o similar, al material o elemento que se consolida, a aumentos de temperatura iguales. Se tiene que entender que si esta característica no se tiene en cuenta, podemos terminar cometiendo errores, que producen tensiones internas al material tratado.

Pongamos como ejemplo que se consolida un paramiento revestido de cerámica, con inyecciones de mortero de cemento y en su origen estuvo colocado con mortero de cal. Consecuentemente el que se producirá cuando se produzcan aumentos o disminuciones de temperatura, es que el mortero de cal dilatara o contraerá con una velocidad y una proporción muy menor que el cemento. El aumento/disminución rápido de volumen del mortero de cemento hará que el mortero de cal no sea capaz de absorber estos movimientos, aunque sean más elásticos, se le producirán tensiones internas en el mortero existente.

Hay que decir que la retracción también puede referirse al propio material, es decir, si pensamos en un mortero para consolidaciones, este mortero, durante su propio proceso de absorción y principio de endurecimiento, padecerá retracciones. Esta retracción no es provocada por el calor, sino que por la pérdida de agua sobrante durante la hidratación del mortero.

La forma más clara de identificar las retracciones durante la absorción del mortero es la aparición de fisuras en superficies. Las fisuras se suelen producir por la pérdida excesivamente rápida de agua en la superficie del mortero. En esta situación, perdida rápida de agua, el punto crítico, se produce la velocidad de evaporación en superficie supera el

agua de exudación, es decir, el agua que sube para reemplazarla. En estos casos las partículas de aglomerante, cal o cemento forman un menisco de agua con los áridos, produciendo de esta manera fuertes tensiones que se desarrollan en la superficie.

Si la superficie ha empezado a dormirse y por lo tanto consecuentemente ha empezado a ganar rigidez, no dispone de suficiente elasticidad para soportar estas tensiones, y por este motivo se generan fisuras. Este motivo es el que explica porque las retracciones de este tipo son más frecuentes en morteros de cemento que de cal, dado que la velocidad de adormiment es mucho más elevada en el cemento que en la cal.

La retracción durante el proceso de adormiment es una propiedad muy importante a tener en cuenta en la elección de un consolidante. Tenemos que escoger un material que no produzca altas retracciones, dado que estas tensiones de retracción serán transmitidas al material tratado hasta desprenderle. Además si la retracción que sufre el material es muy elevada puede llegar produciendo fisuras por las que el agua pueda penetrar, y como se ha explicado anteriormente, entradas de agua es sinónimo de lesiones.

Los principales factores que afectan la retracción de un mortero durante su proceso de adormiment son:

- *Composición de la mezcla:* es decir la relación de agua/conglomerado y la relación conglomerado/árido. Por ejemplo a mayor cantidad de agua de amasado mayor velocidad de evaporación y por tanto mayor retracción, y a mayor cantidad de árido, mayor capacidad de retener las tensiones producidas en el proceso de adormiment, y por tanto menores retracciones.

- *Utilización de partículas excesivamente finas:* las partículas finas tienden a absorber agua con una relación mucho más elevada que las partículas de gran medida, la explicación de este hecho es la elevada superficie específica que tienen, enfrente a du volumen. Por tanto se utilizan partículas excesivamente finas, es nuestro caso, mortero con microsílíce y nanosílíce, se tiene que intentar contrarrestar este efecto.
- *Condiciones de la exposición:* periodo de cura, temperatura ambiente, relación superficie/volumen y viento. Ponemos como ejemplo un ambiente muy seco y muy cálido, el agua evapora mucho más rápido que en un ambiente húmedo, por tanto la evaporación será mucho más rápida y existirá más posibilidad de fisuras por retracción. Es por este motivo que las condiciones de exposición se tienen que controlar en la medida de lo posible.



FIG. 50: Cal aérea CL-90 de Pachs

4.13 COMPATIBILIDAD QUÍMICA

La compatibilidad química entre dos materiales se define como materiales que al entrar en contacto no padezcan reacciones químicas descontroladas ni adversas.

Por descontroladas entendemos como reacciones no esperadas, como podría ser un cambio de color en el material con el que entra en contacto.

Por adversas podríamos citar como ejemplo la generación de sales solubles. Es el caso citado anteriormente, de la calcita, CaCO_3 , que puede reaccionar con el dióxido de sofre atmosférico existente en ambientes contaminados, dando lugar en este caso a la formación de yeso (que es soluble en agua) (GROSSI, C.; ESBERT, R. M., 1994).

Por lo tanto, cuando se realiza una intervención en restauración, ya sea una consolidación, reposición o cualquier otra, en primer lugar se ha de realizar un profundo estudio de los elementos existentes y de todos aquellos que sean susceptibles de entrar en contacto con el nuevo material a aplicar. Para poder conocer todas las posibles incompatibilidades químicas y minimizar de esta manera las posibles reacciones químicas adversas.

Para intentar minimizar las posibilidades de incompatibilidad química, en este trabajo nos hemos decantado por usar un mortero basado en cal para la realización de consolidaciones de productos o elementos de base calcárea. Por lo tanto, si el punto de partida del material son dos materiales que químicamente son iguales, minimizan totalmente la formación de reacciones químicas adversas o incontroladas.

Aun cuando el material se emplee para la realización de consolidaciones, por ejemplo un estuco de cal, se debe de estudiar las posibles variables existentes en el lugar donde se aplicara, la presencia de aguas contaminadas, ambientes contaminados, tipos de soporte del estuco, etc. Aun cuando el material no se encuentre en contacto directo con estos elementos, se pueden producir patologías, es decir, aunque las inyecciones no sean en la cara exterior del estuco sino que en el interior de las bolsas, los morteros de cal son porosas y por lo tanto las partículas de la atmosfera, pongamos que está contaminada, pueden ser susceptibles de penetrar.

5 MORTEROS, PASTAS Y LECHADAS DE CAL TRADICIONALES PARA LA REALIZACIÓN DE CONSOLIDACIONES

Tradicionalmente los morteros, pastas y lechadas de cal han sido empleados para la realización de consolidaciones. Dado que la cal es un material existente en muchas de las construcciones y edificios que actualmente se están restaurando, es lógico pensar que la mejor forma de restaurarlo sea con el mismo material que el original.

Los productos basados en cal, a pesar de tener muchas ventajas, también tienen inconvenientes como se han explicado anteriormente. Los principales inconvenientes son; penetración escasa y un lento proceso de carbonatación y como consecuencia un endurecimiento muy retardado. La principal ventaja, y más si hablamos de consolidaciones en materiales de origen calcáreo, es su total compatibilidad química, física y mecánica, dado que se emplea el mismo producto existente.

5.1 GENERALIDADES

Los morteros son materiales de construcción. Sus principales componentes son; áridos, agua y un ligante o conglomerante. En algunos casos, y con el fin de mejorar sus propiedades, se les añaden ciertos aditivos (puzolanas, materiales cerámicos, fluidificantes, retardantes, etc.).

En la denominación mortero se incluyen diversas tipologías, en cuanto a composición y función, entre los cuales citaremos por ejemplo los morteros para enlucidos internos/externos, morteros para estucar, morteros ligeros, morteros para fábricas, tanto para uso común como estructural, etc.

Al ser un material muy abundante y con aplicaciones tan diversas, su clasificación es complicada (existen diversas).

En este proyecto nos centraremos en los morteros que tienen como ligante/conglomerante la cal, aunque en ciertos momentos nos referiremos a otras tipologías para hacer entender nuestra elección o simplemente porque hay otros morteros que son importantes en el campo de la restauración y consolidaciones.

A continuación hablaremos de los conglomerantes basados en carbonato cálcico y de sus propiedades.

5.2 LOS CONGLOMERANTES

Podríamos definir los morteros como materiales artificiales, compuestos, hechos de una mezcla de: producto conglomerante (el ligante), un esqueleto rocoso (el árido) y algunas ocasiones adiciones/aditivos (que mejoran alguna de sus propiedades). Estos tres componentes unidos al uso del agua, que puede tener dos funciones básicas. Por un lado facilitar el amasado, el compactado y el modelado del mortero; y por otro lado, la combinación química con el ligante para desencadenar la reacción de endurecimiento, dando lugar a la formación de un mortero.

Por lo tanto, podemos entender que la función de un conglomerante en un mortero es la de unir las partículas (hacer de “cola”).

Llegados a este punto, es interesante distinguir entre el concepto de aglomerante y el de conglomerante. Se define como aglomerante el material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y que le confiera cohesión al conjunto, por efectos exclusivamente físicos, como por ejemplo el barro, el betún o la cola. Por otro lado, se define como conglomerante el material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto debido a transformaciones químicas en la masa y que tienen como resultado la formación de un nuevo producto compuesto.

En este proyecto hablaremos de conglomerantes, y como se ha expresado anteriormente, nos centraremos en los conglomerantes basados en la cal.

5.3 LA CAL COMO CONGLOMERANTE

Existen muchas definiciones para la cal, pero para ser lo más riguroso posible, en este estudio nos basaremos en la definición que realiza la normativa UNE – EN 459-1/02. La norma define la cal (de forma genérica) como aglomerante que contiene CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, MgO y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ como componentes principales y SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , que son silicatos hidráulicos como componentes secundarios.

De esta definición hecha por la norma UNE – EN 459-1/02, podemos entender que la cal es un término general que se emplea en muchas situaciones para referirnos a las diferentes formas fisicoquímicas que se puede presentar este producto.

Para poder realizar una clasificación coherente, es importante entender que las diferentes tipologías de cal que se pueden producir están íntimamente ligadas a la tipología de la roca y al origen de la misma, utilizada durante el proceso de calcinación.

En este sentido podemos afirmar que todas las cales que hablaremos en este estudio proceden de la calcinación de las rocas calcáreas puras, rocas metamórficas (mármoles) o rocas calcáreas dolomíticas.

Las rocas calcáreas son rocas carbonatadas, originadas por un proceso de sedimentación directa. Esta tipología de roca se caracteriza por tener un porcentaje superior al 50% de carbonato cálcico (CaCO_3), pero también existe en su composición carbonato de magnesio (MgCO_3). Aunque existen rocas calcáreas puras, es habitual que se encuentren mezcladas con otras impurezas. Cuando las impurezas que contiene son arcillas y en función del porcentaje de las mismas, se les conoce como; calcaría margosa (contenido de arcilla inferior al 15%), marga (contenido de arcilla entre el 15 y el 30%) o marga arcillosa (contenido de arcilla superior al 30%).

Las formas minerales en las que podemos encontrar estas rocas son; calcita, que es un material de carbonato cálcico (CaCO_3) y es la forma mineral más abundante en las rocas calcáreas; aragonita, que se diferencia de la anterior por ser más soluble en agua; y por último la dolomita, que es un mineral compuesto por carbonato de magnesio y de calcio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Sobre este mineral se ha de decir que su presencia en la roca calcárea ha de ser inferior al 50% y que en este caso se le conoce como calcárea dolomítica.

Si por el contrario se encuentra un porcentaje superior, la roca se conoce como roca dolomítica. El origen de esta variedad de roca, como se ha expresado anteriormente, es sedimentario. Puede tener diversos orígenes, aunque la más común es la denominada precipitación bioquímica (por la acción de seres vivos).

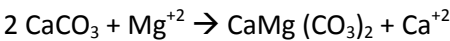
El carbonato cálcico se fija (en general en forma de aragonita) a esqueletos de determinados organismos y a su muerte, estos esqueletos se acumulan, originando un sedimento carbónico, dando origen a las rocas calcáreas bioquímicas.



FIG. 51: Preparación de lechada para posterior prueba en el simulador de inyectabilidad

En el caso de las dolomitas, hablamos de rocas (también carbonatadas), constituidas mayormente por el mineral dolomita (como mínimo por un 50% de dolomita y con frecuencia por más del 90%). No se ha de confundir el término dolomía, que hace referencia a una roca y dolomita, que hace referencia a un mineral.

Las dolomías se originan como consecuencia de procesos post sedimentación. Es decir, las calcáreas formadas por los procesos antes descritos pueden ponerse en contacto con aguas ricas en magnesio, el da origen al proceso llamado dolomitización y que cumple la siguiente reacción química;



En el caso del mármol, hablamos de una roca metamórfica que se origina a partir de rocas calcáreas que padecen una serie de procesos geológicos que inducen cambios mineralógicos y estructurales. Estos cambios son consecuencia de la búsqueda del equilibrio fisicoquímico de las rocas, cuando se encuentran sometidas a ambientes diferentes de aquellos en los que se han formado. En concreto los mármoles procedentes del metamorfismo de las rocas calcáreas después de una recrystalización de sus minerales, originando en general un aumento de la compacidad y variando el resto de las características de la roca de origen. En su consolidación predomina el CO_3Ca , acompañado de una gran diversidad de otros minerales (mica, silicatos magnésicos, grafito, óxido de hierro, etc.).

Una vez entendidos los diferentes orígenes de las rocas de las cuales se obtienen las diferentes variantes o formas de cal, haremos una clasificación genérica.

5.4 TIPOLOGÍAS O VARIEDADES DE LAS CALES

En este apartado se pretende hacer una clasificación de las diferentes tipologías de cal.

Cabe decir que cuando hablamos de tipologías nos referimos tanto a formas fisicoquímicas diversas como a orígenes diversos.

Es evidente que la clasificación de las cales no se simplifica y que aunque todos los autores estén de acuerdo en algunos criterios básicos, a la hora de realizar una clasificación exhaustiva, sus opiniones divergen. Por lo tanto, en este estudio, más que una clasificación, llamaremos y explicaremos las diversas tipologías.

Como una breve introducción de las tipologías a la que se refiere la norma en esta tabla diremos que las cales de tipo CL, con cales de un alto contenido en calcio y que se componen principalmente de óxido de calcio; las cales tipo DL son cales de origen dolomítico y que se componen principalmente de óxido de calcio y de óxido de magnesio; las cales tipo HL son cales de tipo hidráulico, de origen artificial y que se componen principalmente de silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos e hidróxido cálcico; y las cales tipo NHL son cales de tipo hidráulico, de origen natural y que se componen principalmente de silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos e hidróxido cálcico.

Tipo de cal		CaO+MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Cal libre
1	CL 90	≥ 90	≤ 5 ^e	≤ 4	≤ 2	-
2	CL 80	≥ 80	≤ 5 ^e	≤ 7	≤ 2	-
3	CL 70	≥ 70	≤ 5	≤12	≤ 2	-
4	DL 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
5	DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-
6	HL 2	-	-	-	≤ 3 ^b	≥ 8
7	HL 3.5	-	-	-	≤ 3 ^b	≥ 6
8	HL 5	-	-	-	≤ 3 ^b	≥ 3
9	NHL 2	-	-	-	≤ 3 ^b	≥ 15
10	NHL 3.5	-	-	-	≤3 ^{ab}	≥ 9
11	NHL 5	-	-	-	≤ 3 ^b	≥ 3

5.5 TIPOLOGÍAS DE CAL SEGÚN SU PROCESO DE ENDURECIMIENTO

5.5.1 CAL AÉREA

Como se ha anunciado en el anterior apartado, esta denominación hace referencia a las cales que endurecen en presencia del aire, más concretamente en presencia del dióxido de carbono (CO₂). Como podemos deducir de las descripciones hechas anteriormente, las cales de tipo aéreos provienen de la calcinación de rocas calcáreas, dolomíticas o mármol y están compuestos básicamente por hidróxido cálcico [Ca (OH)₂], óxido cálcico (CaO), hidróxido de magnesio [Mg (OH)₂] y óxido de magnesio (MgO) y con un cierto contenido de humedad y en contacto con la atmosfera se combina con el CO₂ de la misma, formando de esta manera carbonato cálcico (CaCO₃). Esta reacción se conoce como carbonatación y tiene lugar durante el proceso de endurecimiento del mortero. Antes de que tenga lugar la reacción de carbonatación, el producto inicial (las rocas) pasa por ciertos procesos fisicoquímicos que explicaremos a continuación paso a paso, desde la materia prima (las rocas) hasta la obtención del producto resultante (cal aérea). Para poder realizar esta explicación nos ayudaremos de las formulaciones químicas.

Proceso de obtención:

A continuación explicaremos con la ayuda de formulaciones químicas los diferentes estados fisicoquímicos que se producen en las cales de tipo aéreo para llegar a obtener el producto que podemos encontrar en el mercado con la denominación CL y DL.

Cabe decir que en las denominaciones CL y DL existen dos grupos, es decir, si las cales en forma de óxido (cal viva), a las letras CL o DL les acompaña una Q; pero si las cales aéreas están en forma de hidróxido (cal apagada), les acompaña una S.

<ul style="list-style-type: none">• <i>Calcinación:</i> <p>La reacción de calcinación es el proceso mediante el cual se convierte el carbonato cálcico (CaCO₃) con el óxido cálcico (CaO). Este proceso se da gracias a la aplicación de altas temperaturas (unos 1000 °C) a las rocas. Este aumento de temperatura produce que el carbonato cálcico se descomponga, es decir, se produce un colapso de la estructura cristalina en las rocas carbonatadas, dando lugar a la aparición del óxido cálcico, desprendiendo dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas de esta reacción.</p> <p>Las rocas durante el proceso de calcinación pasan por diversas transformaciones fisicoquímicas, que a continuación intentaremos resumir en función del gradiente de temperatura;</p> <p>A 110 °C, la roca se desprende del agua higroscópica (es decir, del agua que no forma parte de su composición).</p> <p>Entre 110 °C y 700 °C, los silicatos que pueden provenir de las arcillas (presentes en forma de impurezas de las rocas) se descomponen, dando lugar a dióxidos de silicio y trióxidos de aluminio.</p> <p>Entre 700-900 / 1000 °C se descomponen los carbonatos, desprendiéndose en esta reacción dióxido de carbono y quedando como material resultante óxido de cal y cal viva.</p> <p><u>Reacción de calcinación:</u></p> <p>Calcáreas</p> $\text{CaCO}_3 + 900/1000\text{ °C} = \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow - \Delta Q$ <p>Obtenemos cal tipo CL – Q</p>	<p>Dolomíticas</p> $\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3 + 900/1000\text{ °C} = \text{CaO MgO} + 2 \text{CO}_2 \uparrow - \Delta Q$ <p>Obtenemos cal tipo DL – Q</p> <p>Para simplificar la explicación, solo se plantea la reacción con rocas calcáreas y dolomíticas puras.</p> <p>Se ha de decir que en este proceso intervienen otros componentes, minerales y elementos que pueden estar presentes en forma de impurezas en la materia prima y que también existe la posibilidad de composiciones mixtas de rocas calcáreas con cierto contenido de mineral dolomita. Pero a efectos de este proyecto, nos basaremos en las reacciones que se producen en los materiales que hipotéticamente están en un estado puro.</p> <p>Por lo tanto y para concluir este apartado, podemos determinar que después del proceso de calcinación obtenemos cales que en el mercado se comercializan como CL – Q o DL – Q.</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Hidratación / apagado:</i> <p>La reacción de hidratación o la acción de apagado de la cal aérea es el proceso mediante el cual se convierte el óxido cálcico (CaO) o magnésico (MgO), que proviene de la calcinación, en hidróxido cálcico [Ca (OH)₂] o en hidróxido magnésico [Mg (OH)₂].</p> <p>Este proceso se da gracias a la aportación de agua; por este motivo se conoce como hidratación. En este proceso se produce un aumento considerable de volumen. Debido al aumento de volumen molar que supone el cambio de estado de óxido a hidróxido, y un desprendimiento de calor (reacción exotérmica) muy elevado.</p>	<p><u>Reacción de hidratación / apagado</u></p> <p>Calcáreas</p> $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca (OH)}_2 + \Delta V + \Delta Q$ <p>Obtenemos cal tipo CL – S</p> <p>Dolomíticas</p> $\text{CaO MgO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CaO (OH)}_2 + \text{CaO (OH)}_2 + \Delta V + \Delta Q$ <p>Obtenemos cal tipo DL – S</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Carbonatación:</i> <p>La reacción de carbonatación es el proceso mediante el cual se convierte el hidróxido cálcico, que se ha formado durante el apagado en carbonato cálcico (su estado original).</p> <p>Esta reacción sucede gracias a dos elementos: el agua proveniente de la fase de apagado y el CO₂ presente en la atmosfera.</p> <p><u>Reacción de carbonatación</u></p> $\text{Ca (OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$ <p>Una vez explicadas las reacciones químicas que se producen en el proceso de obtención y endurecimiento de las cales de tipo aéreo, llegamos a la conclusión de que para estas reacciones, y más concretamente la reacción de carbonatación, se han de dar diversos factores que explicamos a continuación.</p> <p>La carbonatación depende del grado de humedad ambiental, dado que la reacción de carbonatación se produce lentamente por la acción del CO₂ ambiente al penetrar desde el exterior disuelto en agua. Por lo tanto, las cales de tipo aéreo, para carbonatar, necesitan que el grado de humedad ambiental sea la óptima.</p>	<p>La solubilidad del CO₂ depende también por ejemplo de la presión (con mayor presión, mayor solubilidad) o de la temperatura (menor temperatura, mayor solubilidad). Otra circunstancia es la solubilidad del hidróxido y el carbonato, que dependen en gran medida del pH, de la temperatura y de la presión.</p> <p>Por lo tanto podemos llegar a entender que el proceso de carbonatación de las cales aéreas dependen de diversos factores. Los más destacados son la humedad ambiental, temperatura, presión y pH.</p> <p>Estos factores son, en gran medida, los causantes de las limitaciones del endurecimiento de las cales aéreas. Si alguno de los dos componentes básicos necesarios (agua y CO₂) escasean en el ambiente, el proceso de endurecimiento y carbonatación pueden coger mucho tiempo en producirse.</p> <p><u>5.5.2 CAL HIDRAÚLICA</u></p> <p>Como hemos explicado anteriormente, se consideran hidráulicas aquellos conglomerados que son capaces de endurecerse en un medio saturado de agua o incluso bajo el agua. Este hecho se produce porque contiene cierta cantidad y variedad de elementos que endurecen por hidratación. Estos componentes son los silicatos y aluminatos cálcicos que con el contacto con agua (proceso de hidratación) forman sustancias estables insolubles de tipo de gel CSH, CAH y CASH, pero conservando al mismo tiempo una fase aérea, que puede ser más o menos abundante y que se endurecerá por carbonatación.</p> <p>Este doble comportamiento confiere sus principales cualidades a esta tipología de cal. La parte hidráulica se verá menos afectada por las condiciones ambientales (lluvia, bajas temperaturas, falta de CO₂), y por lo tanto endurecerá más rápidamente.</p>
---	---	---	---

Podríamos decir que de esta manera se consigue una resistencia mayor, tanta a compresión como a los agentes que los deteriora a menos días de edad. La parte aérea se endurecerá más lentamente (por acción del CO₂) y eso permitirá la formación de una estructura macroporosa que permitirá el intercambio de humedad entre el mortero y el ambiente.

Se ha de decir que antes de que tenga lugar el endurecimiento de la cal hidráulica, el producto inicial (las rocas) pasan por ciertos procesos fisicoquímicos que explicaremos a continuación paso a paso, desde la materia prima (las rocas), hasta obtener el producto resultante (cal hidráulica). Para poder realizar esta explicación, nos ayudaremos de las formulaciones químicas.

Proceso de obtención:

A continuación explicaremos los diferentes estados fisicoquímicos que se producen en las cales de tipo hidráulico para llegar a obtener el producto que podemos encontrar en el mercado con las denominaciones de NHL, HL Y NHL-Z.

Se ha de decir que se simplificara la explicación de las reacciones químicas dado que son muy complejas.

• *Calcinación:*

Para simplificar las reacciones químicas que se producen durante la calcinación de esta tipología de cal, solo tendremos en cuenta los principales óxidos mayoritario9s, SiO₂, Al₂O₃ y CaO, aunque normalmente existen otros óxidos como el Fe₂O₃.

Cuando el tipo de roca que se emplea durante la producción de cal se le añaden o llevan arcillas en cierta proporción entre un 10-22% (aproximadamente) en su composición, el proceso de calcinación, detallado en las cales de

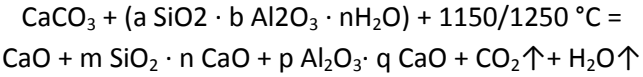
tipo aéreo, continua para la obtención de otros productos;

A partir de 1000 °C, los productos resultantes CaO, SiO₂ y Al₂O₃ reaccionan. A 1200 °C se forma el silicato bicálcico, conocido como el cristal de Belita (Ca₂Si).

Es aproximadamente en esta temperatura, y digo aproximadamente porque hay autores que hablan de 1150 °C y otros de 1250 °C, donde se ha de finalizar la calcinación, dado que a partir de este punto aparece la fase liquida, es decir, antes de la temperatura de clinkerización.

La temperatura en la que se forman mayor cantidad de silicatos y aluminatos, con un descenso considerable de óxido de cal o cal viva, CaO libre, y por lo tanto pasamos a producir cemento portland natural y no una cal hidráulica.

Reacción de calcinación



a SiO₂ · b Al₂O₃ · nH₂O; Arcilla.
CaCO₃; Roca calcárea.
CaO; Oxido de cal libre SiO₂.
n CaO; Silicatos cálcicos .
p Al₂O₃ · q CaO; Aluminatos cálcicos.

• *Hidratación / apagado:*

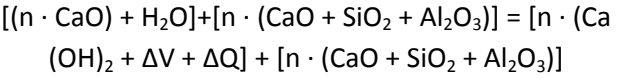
La reacción de hidratación o la acción de apagado de la cal hidráulica es el proceso mediante el cual se convierte el exceso de óxido cálcico (CaO) u oxido cálcico libre [Ca (OH)₂].

Este proceso se da gracias a la aportación de agua, que por este motivo se conoce como hidratación. La mayor deferencia con las cales aéreas es que se ha de poner especial atención a

la cantidad de agua que se utiliza para el apagado, dado que no interesa que los aluminatos y los silicatos presentes en forma sólida se hidraten, y por lo tanto pierdan sus propiedades hidráulicas. Por lo tanto, podríamos decir que en este caso la hidratación es selectiva y solo se hidrata el CaO, oxido cálcico, libre. En este proceso, análogamente al proceso de apagado de las cales aéreas, se produce un aumento considerable de volumen.

Debido al aumento de volumen molar que supone el cambio de estado de óxido a hidróxido, y un desprendimiento de calor (reacción exotérmica) muy elevado.

Reacción de hidratación / apagado:



La carbonatación / hidrolisis de los silicatos y aluminatos.

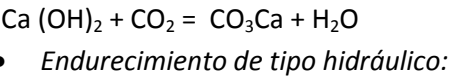
En el caso de las cales de tipo hidráulico, durante el proceso de endurecimiento del mortero, se dan dos tipos de endurecimiento: una parte que se realiza de forma aérea, y por lo tanto es equiparable a la carbonatación de los morteros de cal aérea; y la otra la hidráulica, que se puede asimilar a la hidrolisis de los silicatos y aluminatos que se produce en el mortero de cemento portland.

• *Endurecimiento de tipo aéreo:*

La reacción de carbonatación es el proceso mediante el cual el hidróxido cálcico se convierte, que se ha formado durante el apagado, en carbonato cálcico (su estado original).

Esta reacción tiene lugar gracias a dos elementos; el agua proveniente de la fase de apagado; y el CO₂ presente en la atmosfera. Para simplificar las reacciones y para explicar la reacción, se pone el caso idílico en que solo existe un hidróxido cálcico y un dióxido de carbono.

Reacción de carbonatación:

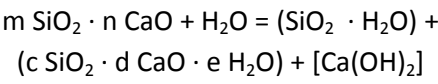


La reacción de hidrolisis de los silicatos y aluminatos es ciertamente más compleja que la carbonatación que se produce con el hidróxido cálcico.

Por lo tanto, hablaremos de los productos que se forman de una forma esquemática y general.

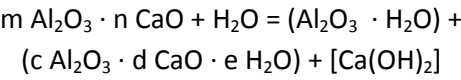
En primer lugar cabe diferenciar las reacciones de los silicatos y de los aluminatos.

Reacción de hidrolisis de los silicatos



SiO₂ · CaO: Gel de sílice en equilibrio con los ácidos salicilos (salicils) o polisilicis.
c SiO₂ · d CaO · e H₂O: Hidrosilicatos diversos con estructura cristalina en forma de gel.
Ca(OH)₂: Hidróxido cálcico.

Reacción de hidrólisis de los aluminatos



$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$: Gel de aluminato (alúmina)
 $\text{c Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{d CaO} \cdot \text{e H}_2\text{O}$: Hidroaluminatos
diversos de estructura cristalina en forma de gel.
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Hidróxido cálcico.

Las cales hidráulicas tradicionalmente se han clasificado en función de la cantidad de arcilla activa que contienen.

En función de esta clasificación se realizan 3 subdivisiones según el tiempo de endurecimiento de la cal. Débilmente hidráulica, moderadamente hidráulica y eminentemente hidráulica.

El primer grupo se caracteriza por un rápido endurecimiento y una resistencia a la compresión en tiempos mucho más cortos que el grupo débilmente hidráulicas.

El grupo moderadamente hidráulicas se encuentra a medio camino de entre las dos.

Las propiedades finales del mortero de cal hidráulica dependen de su composición química, la forma en que se ha realizado la calcinación y la manera en que ha sido apagada e hidratada.

Las propiedades de las cales hidráulicas, podríamos asimilarlas a las obtenidas en una mezcla de cemento portland con la proporción correspondiente de cal hidratada.

El mortero de cal hidráulica es muy fluido, es decir, que tiene una buena trabajabilidad y endurece más lentamente que el de cemento portland.

Por otro lado, el mortero de cal hidráulica tiene una resistencia a la compresión más baja que el del mortero de cemento portland.



PREMISAS DE LA INVESTIGACIÓN



FIG. 52: Reparaciones agresivas mediante cemento en paramentos dañados.



FIG. 53: Reparación y realización de juntas en un muro de piedra.



FIG. 54: Consolidación de mampostería degradada a causa de la humedad mediante la inyección del consolidante.

6. PREMISAS DE LA INVESTIGACIÓN

En este apartado realizaremos una explicación teórica de cómo se planteó inicialmente la experimentación, y haremos un pequeño recorrido por la elección de los materiales utilizados.

6.1 MARCO GENERAL

Como se ha explicado anteriormente los productos basados en carbonato cálcico y sus derivados han sido y siguen siendo utilizados ampliamente en el campo de la restauración para la realización de consolidaciones, pero en ciertos casos se utilizan con unos resultados no tan satisfactorios, ya sea por el desconocimiento de los mismos o por la falta en el mercado que respondan a todas las necesidades que plantea una consolidación mediante inyecciones.

Desde el laboratorio de materiales de la EPSEB y con la colaboración de diversas empresas productoras de materiales, se decidió investigar en este sentido.

Se planteó la creación de un material que fuera apto para consolidaciones de materiales basados en carbonato cálcico, que disponga de todas las prestaciones necesarias de un buen consolidante

Para poder tener una referencia se eligió tomar como base un producto existente en el mercado, que según diversos autores, es el producto más utilizado y con mejores prestaciones finales en el campo de las consolidaciones. Éste producto es el PLM de la casa comercial CTS.

Este producto en muchos aspectos cumple los requisitos de buen consolidante, pero la motivación a buscar otro producto que pueda sustituirlo reside en el hecho de una presencia de 4 % en resinas, de procedencia no determinada.

Con este trabajo no se pretende demostrar que éste sea un mal producto, sino que con un mortero tradicional de cal, con los aditivos correctos y sin la presencia de resinas se pueden conseguir los mismos resultados.

Teniendo en cuenta las principales desventajas de un mortero tradicional de cal para consolidaciones se planteó la utilización de ciertos productos que puedan mejorar estos aspectos.

Como se ha expresado anteriormente el principal problema de los morteros de cal para consolidaciones es el largo proceso de endurecimiento por la imposibilidad de entrada del CO2 en aquellos huecos que se consolida.

Por lo tanto diremos que para evitar éste inconveniente se acordó el uso de un material como puzolana que produzca una fase hidráulica al 100 %, es decir que todo el endurecimiento del producto se produzca sin la presencia de CO2 ambiental

6.2 PRESTACIONES DEL MORTERO

6.2.1 UTILIZACIÓN DE SÍLICE COMO PUZOLANA

Se determinó el uso de sílice como material puzolánico y evitar que los productos aéreos de los productos basados en CaCO2 tengan una falta de reacción.

6.2.2 RAZONES DE LA ELECCIÓN DE LA CAL Y NO EL CEMENTO

Si analizamos la cal como material de construcción sostenible, resulta inevitable preguntarse en que se diferencia del cemento que tan acostumbrados estamos a utilizar. En el siguiente apartado se realiza una comparativa entre ambos materiales, anotando las ventajas e inconvenientes.

Se trata de materiales muy diferentes y, si bien es cierto que sin el cemento Portland no se hubiesen podido construir muchas de las obras arquitectónicas actuales más representativas, la cal es mucho más compatible con los criterios de restauración de monumentos arquitectónicos.

La siguiente tabla (tabla 01) muestra las ventajas e inconvenientes de la cal y el cemento como materiales de construcción.

	Cal	Cemento
Compatibilidad con estructuras históricas	Sí	No
Ausencia de álcalis solubles	Sí	No
Reconstrucción autógena de las grietas	Sí	No
Elasticidad y trabajabilidad	Sí	No
Alta resistencia a la compresión	No	Sí
Retención hidráulica	Sí	No
Porosidad y permeabilidad	Sí	No
Economía en la fabricación	Sí	No
La resistencia a los sulfatos	No	Sí
Presa rápida	No	Sí
Endurecimiento lento	Sí	No
Ecología de la producción, uso, disposición	Sí	No
Versatilidad de uso para el medio ambiente	No	Sí
El uso de mano de obra altamente calificada	Sí	No
Facilidad de aplicación de pigmentos	Sí	No

TABLA 01.: Ventajas e inconvenientes de la cal y el cemento.

La siguiente tabla (tabla 01) muestra algunos de los elementos presentes en los cementos y su acción frente a los materiales de construcción tradicional.

Vemos, por tanto, que la cal resulta más compatible en la restauración de monumentos arquitectónicos debido al contenido de los elementos nocivos para éstos en los cementos. Por otro lado, el cemento presenta una mayor resistencia y precisa de mano de obra menos cualificada para su puesta en obra, por lo que se reduce el coste económico de su uso.



FIG. 55: Árido utilizado: Micromar 250 de la casa comercial Aymar



FIG. 56: Árido en depósito de Aymar, en San Celoni



FIG. 57: Diferentes tipos de cemento utilizados en construcción.

En los procesos de fabricación, el cemento es más contaminante y no es reciclable, además de no absorber posteriormente dióxido de carbono a lo largo de su vida útil como hace la cal, por lo que resulta un material menos sostenible. Por otro lado, pese al importante impacto ambiental de éste, tiene la capacidad de aprovechar la radiación solar mediante la inercia térmica debido a su elevado calor específico.

6.2.3 VENTAJAS DE LOS MORTEROS DE CAL VS. CEMENTO

- Buena plasticidad y trabajabilidad, ya que la cal envuelve la superficie entre los áridos evitando el rozamiento y mejorando el deslizamiento.
- Ausencia de retracción debido a la estabilidad volumétrica frente a la humedad.
- Adaptación a las deformaciones y bajo riesgo de agrietamiento debido a su elasticidad.
- Permeabilidad al vapor de agua debido a su porosidad para permitir la carbonatación del óxido cálcico, que confiere transpirabilidad y evita las condensaciones, además de proporcionar un buen aislamiento térmico y acústico.
- No provoca eflorescencias ya que no contiene sales solubles.
- Permite realizar capas más finas que los morteros de cemento.
- Garantizan el sellado y estucado.
- Resistencia a la penetración de agua de lluvia.

- Desinfectante y fungicida natural debido a la alcalinidad de la cal.
- Ignífugo, no produce gases tóxicos.

6.2.4 VENTAJAS DE LOS MORTEROS MIXTOS VS. CEMENTO:

- Mayor adherencia, plasticidad, permeabilidad al vapor, disminución de las eflorescencias, menor retracción y fisuración.
- Cuanto mayor sea el contenido de cemento, en menor medida serán apreciables estas cualidades, mientras que incrementara las resistencias mecánicas del mortero.

En conclusión, la cal y el cemento son materiales que históricamente se han suplido el uno al otro, pero su composición y comportamiento tanto físico como químico les convierte en materiales muy diferentes, por lo que cada uno de ellos será más adecuado que el otro según los requerimientos de cada caso.

Fase	Fórmula	Cantidad	Degradación potencial
Aluminato Tricálcico	C ₃ A	3-10 % 10.03 %	Reacciona con los sulfatos y el agua resultante atacando y causando el deterioro de la argamasa, ladrillos y piedras.
Tetracalcium Aluminoferiti	C ₄ AF	8-10 % 08.10 %	Reacciona con el yeso causando expansión.
Sulfatos	SO ₃	2-7 % 07.02 %	Contribuye al ataque de sulfatos.
Álcali	Na ₂ O K ₂ O	1-3 % 03.01 %	Reacción asociada con la presencia de álcalis en el cemento y la sílice amorfa o cristalino deficiente en algunos agregados. El fenómeno también es conocido como la reacción álcali-sílice (álcali-sílice Reacción o ASR).
Yeso	CaSO ₄	2-9 % 02.09 %	Sin perjuicio de expansión, produce eflorescencias.

TABLA. 02: Materiales presentes en el cemento y su acción frente a los materiales de construcción tradicional.

6.2.5 UTILIZACIÓN DE CL Y NHL

En el proyecto anterior de Roser Puchol, éstos dos tipos de cales han tenido muy buenos resultados, por lo tanto hemos decidido continuar con ambos materiales para buscar resultados igual de satisfactorios.

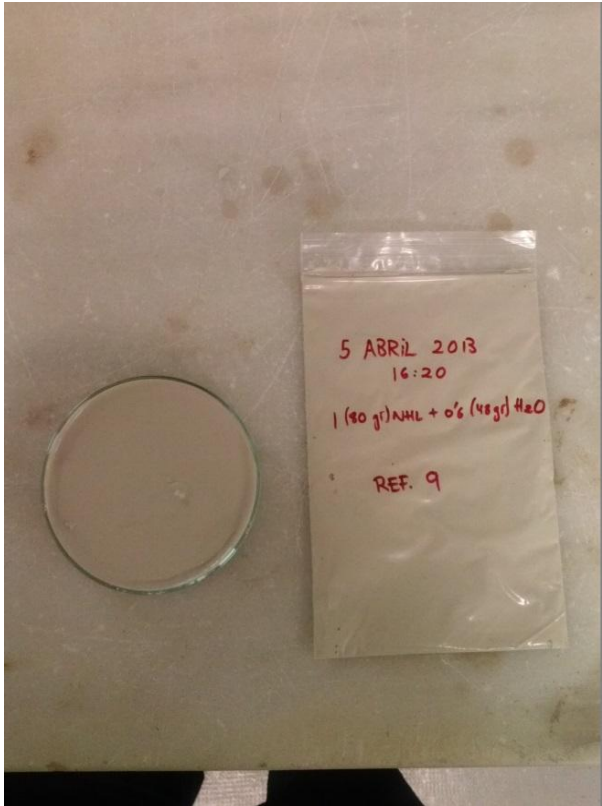


FIG. 58: Muestras con y sin la presencia de CO₂

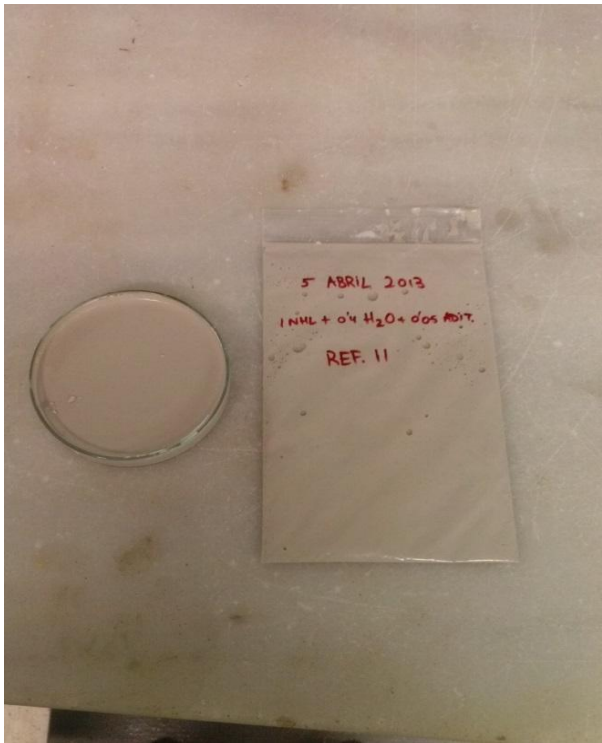


FIG. 59: Muestras con y sin la presencia de CO₂

6.2.6 INYECTABLE

Como se ha dicho anteriormente, se busca un producto totalmente inyectable, ya que será utilizado en el campo de consolidaciones y restauraciones en base de inyecciones por jeringa, que supone el método más utilizado en este tipo de actuaciones.

Por lo tanto, buscaremos un material con baja viscosidad y alta capacidad de penetración.

6.2.7 DOSIFICACIÓN CAL/PUZOLANA/ÁRIDO

Al comenzar el proyecto, se tomó como referencia las dosificaciones del proyecto anterior, pero con el fin de optimizar los usos de los diferentes materiales se realizaron unas pruebas de DRX y TGA por parte de Joan Formosa en la universidad UB, con el fin de saber cuáles eran las combinaciones químicas entre los distintos materiales.

Las pruebas realizadas fueron hechas con unas dosificaciones que se describen en el anexo de pruebas y resultados.

A través de éstas pruebas llegamos a acordar las dosificaciones y relación dentro del conglomerante que utilizaremos en las pruebas que se describen a continuación.

Por lo tanto, determinamos el porcentaje de sílice (micro y nano) para los casos de cal aérea y también para los casos de NHL, necesario para que toda la reacción del producto sea de tipo hidráulico.

En el mismo momento de acordar las dosificaciones, se acordó las dosificaciones de árido basándonos en el proyecto anterior.

6.2.8 DOSIFICACIÓN CONGLOMERANTE/ARIDO

Establecemos unas dosificaciones con el árido de 1:3 para las cales aéreas mientras que para la hidráulica serán de 1:2.

6.2.9 DOSIFICACIONES PARA ESTUDIO DE COMPOSICIÓN

Para realizarse las pruebas de composición de DRX y TGA, se realizaron las siguientes dosificaciones y se han llevado a la UB para la realización de dichas pruebas por parte del Profesor Joan Formosa:

- 1 NHL + 0.6 H₂O:
 - 9: 1 (80 gr) NHL + 0.6 (48 gr) H₂O (sin CO₂).
 - 10: 1 (80 gr) NHL + 0.6 (48 gr) H₂O (con CO₂).
- 1 NHL + 0.4 H₂O + 0.05 Aditivo:
 - 11: 1 (80 gr) NHL + 0.4 (32 gr) H₂O + 0.05 (4 gr) Aditivo (sin CO₂).
 - 12: 1 (80 gr) NHL + 0.4 (32 gr) H₂O + 0.05 (4 gr) Aditivo (con CO₂).
- 1 CL + 0.6 H₂O:
 - 13: 1 (80 gr) CL + 0.6 (48 gr) H₂O (sin CO₂).
 - 14: 1 (80 gr) CL + 0.6 (48 gr) H₂O (con CO₂).
- 1 CL:
 - 15: 1 (80 gr) CL (sin CO₂).
- 1 NHL:
 - 16: 1 (80 gr) NHL (sin CO₂).
- 1 CL + 0.85 H₂O:
 - 17: 1 (80 gr) CL + 0.85 (64 gr) H₂O (sin CO₂).
- 1 CL + 0.85 H₂O:
 - 17: 1 (80 gr) CL + 0.85 (64 gr) H₂O (sin CO₂).
 - 18: 1 (80 gr) CL + 0.85 (64 gr) H₂O (con CO₂).

En estas pruebas, se anotarán la fecha y la dosificación, también hay que diferenciar que algunas muestras serán con presencia de CO₂, es decir abiertas al ambiente, y las otras sin presencia de CO₂, por lo tanto se guardarán en bolsas retractiles para que no estén en contacto con el CO₂.

6.2.10 INCLUSIÓN DE MICROSÍLICE

A continuación se realizarán otras dosificaciones para su posterior estudio de composición, en ellas se ha agregado el microsíllice para poder estudiarlas con un material más y ver cómo reaccionan los otros materiales con éste último, realizaremos diferentes composiciones y porcentajes del microsíllice con las cales, se tomó como base una formulada acordada:

$$\frac{\text{Ca O}}{\text{Si O}_2} = \frac{100}{x} - 1$$

En donde se toma una relación entre la cal y microsíllice, y a continuación presentamos los diferentes porcentajes realizados:

- Mezclas de 5% (problema: no sabemos qué cantidad de agua añadir a la mezcla):
 - 19: 1 (100 gr) CL + 5% (5.26 gr) μ Si O₂ + 1.5 H₂O (sin CO₂).
 - 20: 1 (100 gr) CL + 5% (5.26 gr) μ Si O₂ + 1.5 H₂O (con CO₂).
- Mezclas de 10%:
 - 21: 1 (100 gr) CL + 10% (11.11gr) μ Si O₂ + 1.5 H₂O (con CO₂).
 - 22: 1 (100 gr) CL + 10% (11.11 gr) μ Si O₂ + 1.5 H₂O (sin CO₂).
- Mezclas de 15%:
 - 23: 1 (100 gr) CL + 15% (17.65 gr) μ Si O₂ + 1.5 (176.475 gr) H₂O (Con CO₂).
 - 24: 1 (100 gr) CL + 15% (17.65 gr) μ Si O₂ + 1.5 (176.475 gr) H₂O (Sin CO₂).

- Mezclas de 20% :
 - 25: 1 (100 gr) CL + 20% (25 gr) μ Si O₂ + 1.5 (187.5 gr) H₂O (Con CO₂).
 - 26: 1 (100 gr) CL + 20% (25 gr) μ Si O₂ + 1.5 (187.5 gr) H₂O (Sin CO₂).
- Mezclas de 30%:
 - 27: 1 (100 gr) CL + 30% (42.86 gr) μ Si O₂ + 1.5 (214.29 gr) H₂O (Con CO₂).
 - 28: 1 (100 gr) CL + 30% (42.86 gr) μ Si O₂ + 1.5 (214.29 gr) H₂O (Sin CO₂).

Se realizan 3 pastadas que serán analizadas a 7, 21 y 28 días.

6.2.11 DOSIFICACIONES FINALES E INCLUSIÓN DE NANOSÍLICE

A través de los diferentes estudios de composición realizados, se acordó incluir la nanosílice, ya que es un material que podía aumentar la demanda de agua que nos podían condicionar estas dosificaciones. Por eso decidimos comenzar con unas dosificaciones finales a realizar las diferentes pruebas que en el capítulo de proceso experimental enseñaremos, en donde está presente la nanosílice pero en menor proporción que la microsílice.

Para asegurarnos que se podrá conseguir las características y propiedades deseadas en nuestro consolidante se realizarán pruebas de consistencia para asegurarnos.



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL - MATERIALES



FIG. 60: Apariencia de la Cal CL – 90 S micromatizada de la casa Pachs.

7 MATERIALES EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS

En este apartado se hará una descripción exhaustiva de los diferentes materiales utilizados para realizar los ensayos de laboratorio y una leve explicación de su procedencia.

7.1 CAL

Aunque para probar el aditivo podríamos escoger cualquier tipo de cal en polvo, ya sea aérea o hidráulica, se llegó a la conclusión de que para probar la eficacia de los aditivos hacía falta utilizar las dos tipologías de cal aérea e hidráulica.

CAL ÁREA UTILIZADA

La cal que se decidió utilizar para la realización de los ensayos es la **Cal CL – 90 S micromatizada** de la casa comercial Pachs. Los hechos que motivan la utilización de esta tipología de cal son dos; en primer lugar el contenido cálcico, superior o igual al 90%, hecho que nos permite reducir la posibilidad de impurezas en el mortero final, y por otro lado la existencia en el laboratorio de esta tipología de cal y por tanto la facilidad de utilización de la misma.

Propiedades de la cal CL-90 S de Pachs:

De la ficha técnica de página web de los productos de la cal, y que se adjunta en el anexo de este trabajo, se han extraído los siguientes datos:

Constituyentes:

Sustancia de un solo componente, Óxido de calcio (Ca O), con pequeños porcentajes de Si O₂, Al O₃, Mg O y Ca C O₃, procedentes de la materia prima (roca calcaria).

Propiedades genéricas:

Propiedad	Valores obtenidos o apreciables
Aspecto	Polvo blanco
Olor	Inoloro
Higroscopicidad	Fuerte carácter higroscópico
PH	12,4 en solución saturada a 25 °C
Punto de ebullición	2850 °C
Punto de fusión	2600 °C
Peso específico	3,34 Kg/l a 20 °C
Solubilidad agua	A 20 °C 1,25 kg/m ³ A 100 °C 0,54 kg/m ³
Solubilidad otros	Soluble en ácidos, glicerina y soluciones de sacarosa
Reactividad con ácidos	Reacción exotérmica al formar sales de calcio
Reactividad con agua	Reacción de formación de hidróxido cálcico Desprenden 277 kcal/kg de Ca O

Propiedades físicas:

Características	Valores
Granulometría	0 – 2 mm 0 – 100 micras 0 – 40 micras
Reactividad	T ₆₀ < 5 minutos T _{max} > 70°C
Densidad aparente	940 gr/l

Propiedades químicas:

Elemento químico	Norma	Ud.	Valor medio	Desviación
Contenido de Ca O total	UNE – EN 459	%	93,92	± 1,50
Perdida por calcinación	UNE – EN 459	%	2,42	± 1,40
Contenido de C O ₂	UNE – EN 459	%	1,98	± 0,92
Contenido de Mg O	UNE – EN 459	%	0,84	± 0,10
Contenido Fe O ₃	UNE – EN 459	%	0,49	± 0,04
Contenido de Al ₂ O ₃	UNE – EN 459	%	0,93	± 0,13
Contenido de Si O ₂	UNE – EN 459	%	1,12	± 0,06
S total	ASTM C - 25	%	0,37	± 0,10
Contenido de Ca O útil / libre	UNE – EN 459	%	88,3	± 1,00

Otros elementos presentes:

Elemento químico	Unidades	Valor medio
Bario	mg/kg	5,5
Arsénico	mg/kg	< 10
Plomo	mg/kg	< 10



FIG. 61: Vista exterior del saco de la Cal hidráulica NHL 3,5 Z de la casa St. Astier.



FIG. 62: Apariencia de la Cal hidráulica NHL 3,5 Z de la casa St. Astier.

CAL HIDRÁULICA

La cal que se decidió utilizar para la realización de los ensayos es la **Cal NHL 3,5 Z** de la casa comercial St. Astier. Los hechos que motivan la utilización de esta tipología de cal son dos; en primer lugar porque es una cal hidráulica y aérea a la vez, de resistencia media y empleada en todos los trabajos de restauración y en particular la realización de los revocos, dado que su tinte natural respeta el color de las arenas locales, y por otro lado la existencia en el laboratorio de esta tipología de cal y por tanto la facilidad de utilización de la misma.

Dicha cal cumple con las normas UNE EN 459 and BS 459.

Constituyentes:

Sustancia de varios componentes, Dihidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), Silicato de Calcio (CaSiO_3) y Carbonato de calcio (CaCO_3), procedentes de la calcinación de calizas más o menos arcillosas o síliceas con reducción en polvo por extinción, con o sin trituración.

El CO_2 presente en el aire contribuye al proceso de endurecimiento.

Propiedades genéricas:

Propiedad	Valores obtenidos o apreciables
Aspecto	Polvo semi blanco
Olor	Inoloro
Medida media de las partículas	20 – 30 %: < 5µm
PH	12 - 13
Punto de ebullición	No aplicable
Punto de fusión	> 450°C
Densidad relativa	2,66
Solubilidad agua	A 20 °C 1,5 gr/litro
Densidad (peso volumétrico)	650 gr/litro
Residuos	0,09 mm: 6,5 %
Forma de comercialización	Sacos de 25 kg
Expansión	< 1mm
Vida útil	8-12 meses manteniéndolo seco y sellado

Propiedades físicas:

Morteros	Fuerza de compresión N/mm^2			Modulo elástico (Mpa)		
	1:2	1: 2,5	1:3	1:2	1 : 2,5	1:3
Ratios de mezcla						
7 días	0,75	0,57	0,53			
28 días	1,88	1,47	1,34	9010	9000	8070
6 meses	7,1	5,34	3,94	15260	13501	13150
12 meses	7,5	5,90	3,90	15280	13620	13150
24 meses	8,63	6,00	3,97	17480	13785	13670

Observaciones:

Temperaturas de trabajo: no emplearlo por debajo de 5 °C y por encima de los 30 °C. Asegúrese de que los materiales de alta succión estén completamente humedecidos.

Se puede volver a trabajar sobre el material pasadas 12 horas.



FIG. 63: Vista exterior del recipiente de la Nanosílice 999 de la casa Elkem.

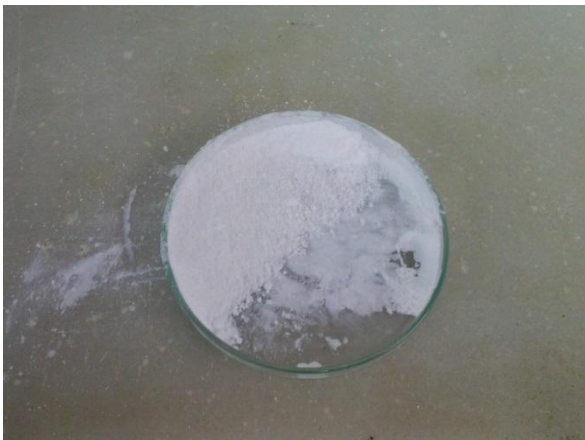


FIG. 64: Apariencia de la Nanosílice 999 de la casa Elkem.

7.2 NANOSÍLICE

La nanosílice es el producto por excelencia en este trabajo, es la base para la obtención de un nuevo mortero. Es decir, cuando al principio se pensó en la creación de un mortero para la consolidación en restauración, se pensó en la necesidad de que la cal no fraguase de forma aérea, dado que la presencia de CO₂ en el interior de las cavidades en las que se inyecta el producto en muy dudosa. Por tanto, para conseguir un adormecimiento hidráulico, se decidió utilizar este producto, que podríamos asimilarlo al empleo de una puzolana.

Tras esta breve introducción del motivo de su utilización, cabe decir que la nanosílice produce un gran inconveniente en los morteros, hablando en términos de consistencia y fluidez, la elevada demanda de agua para su hidratación, hecho que produce, en determinado momento, se tome la decisión de rebajar las cantidades de esta tipología de sílice e introducir cierta cantidad de microsílice para sustituirla.

Al inicio del trabajo se contactó con la empresa Ulmen, que distribuye el producto **Gaia**, que es nanosílice disperso en un líquido. Desde el inicio, el hecho que la nanosílice no esté en forma de polvo y sin aditivos, genero ciertos problemas, dado que no tenían conocimientos de muchos de los procesos que generaba y no tenían claro si los efectos producidos eran por la nanosílice o por los aditivos.

Por otro lado, se pretendía crear un mortero en forma de polvo y por lo tanto con este producto era inviable.

Por estos motivos se determinó utilizar nanosílice en forma de polvo. Se realizó una búsqueda de este producto y finalmente se contactó con la empresa Elkem, que nos facilitó la **Nanosílice 999**, que es el producto empleado finalmente en este trabajo.

Propiedades de la Nanosílice 999 de Elkem:

De la ficha técnica aportada por la empresa Elkem y que se adjunta en el anexo de este trabajo, se han extraído los siguientes datos

Propiedades	Método de ensayo	Ud.	Valores obtenidos
Contenido de Si O ₂	ISO 3262 – 20	%	≥ 99,99
Pérdida de peso por calcinación	ISO 3262 – 20	%	≤ 0,01
Distribución medida de partícula < 400 nm	-	%	100
Densidad aparente	ISO 787 – 11	kg/m ³	90 – 110
Superficie especifica	BET	m ² /g	50
Densidad	ISO 3262 – 20	g/cm ³	2,2
Cantidad de agua en el almacenamiento	ISO 3262 – 20	%	≤ 1
Reflectancia	-	%	≥ 94
Valor del pH	ISO 3262 – 20		3 - 5

Otras propiedades:

Propiedad	Resultado
Color	Blanco
Forma	Polvo amorfo ultra fino
Olor	Inoloro
Solubilidad agua	Difícil
Solubilidad disolventes orgánicos	Insoluble o ligeramente soluble

Elementos químicos presentes:

Elemento químico	Unidades	Valores obtenidos
Fe	ppm	0,1 – 50
Cr	ppm	0,05 – 2
Mn	ppm	0,01 – 3
Cu	ppm	0,05 - 25



FIG. 65: Vista exterior del recipiente de la Microsilica 971 U de la casa Elkem.

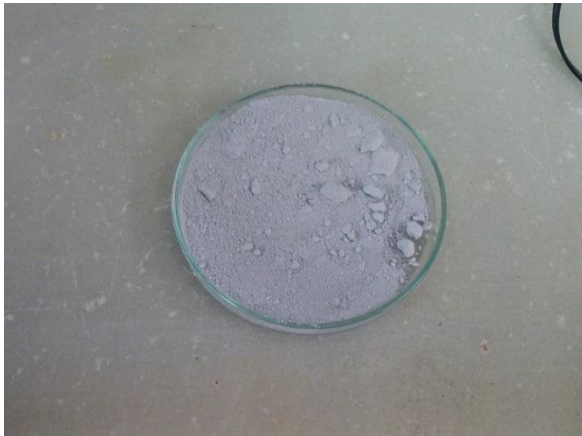


FIG. 66: Apariencia de la Microsilica 971 U de la casa Elkem.

7.3 MICROSILICE

Como se ha explicado previamente, en un principio no estaba prevista la utilización de este producto, dado que se preveía que las prestaciones que pudiera producir en el mortero, por ejemplo cuando hablamos de un aumento de resistencia, serian inferiores que con la nanosílice. Este hecho no quiere decir que el producto no sea efectivo, ya que la fineza de la microsílice es también muy elevada y por lo tanto es muy probable que produzca un aumento de las prestaciones, aunque inferior que con el empleo de la nanosílice.

Durante el proceso de petición de las muestras a la empresa Elkem, el comercial de la misma nos ofreció la microsílice para que también la probáramos. Aunque en un inicio no se pensara en su empleo en este trabajo, cuando surgieron los inconvenientes con la nanosílice se decidió el empleo de la misma, sustituyendo parte de la nanosílice por microsílice.

Como ya se ha expresado, la empresa Elkem nos ofreció un producto para la realización de los ensayos, **Microsilica 971 U**, que es el producto que posteriormente va a ser empleado a la hora de realizar los ensayos.

Propiedades de la Microsilica 971 U de Elkem:

De la ficha técnica aportada por la empresa Elkem y que se adjunta en el anexo de este trabajo, se han extraído los siguientes datos:

Propiedades físicas y químicas:

Propiedades	Límites	Típico
SiO ₂	Mínimo 98 %	98,4 %
C	Máximo 0,7 %	0,50 %
Fe ₂ O ₃	Máximo 0,1 %	0,01 %
Al ₂ O ₃	Máximo 0,3 %	0,20 %
CaO	Máximo 0,3 %	0,20 %
MgO	Máximo 0,2 %	0,10 %
K ₂ O	Máximo 0,3 %	0,20 %
Na ₂ O	Máximo 0,2 %	0,15 %
P ₂ O ₅	Máximo 0,1 %	0,03 %
SO ₃	Máximo 0,3 %	0,10 %
Cl	Máximo 0,1 %	0,01 %
H ₂ O	Máximo 0,5 %	0,20 %

Otras propiedades

Propiedades	Resultado
Color	Gris
Forma	Polvo amorfo ultra fino
Olor	Inoloro
Punto de fusión (°C)	1550 – 1570
Solubilidad agua	Insoluble o ligeramente soluble
Solubilidad disolventes orgánicos	Insoluble o ligeramente soluble
Gravedad específica	2,2 – 2,3
Densidad aparente (kg/m ³)	150 – 700
Superficie específica (m ² /g)	15 – 30
Medida de la partícula media (µm)	0,15 (menos del 0,1 % de las partículas es superior a 45 µm)



FIG. 67: Vista exterior del saco del árido Micromar 250 de la casa Aymar.



FIG. 68: Apariencia del árido Micromar 250 de la casa Aymar.

7.4 ÁRIDO

Desde el inicio del proyecto se tuvo presente la necesidad de emplear un árido para minimizar los efectos de retracción durante en endurecimiento que experimentaría el mortero, debido principalmente a la gran presencia de finos y a la demanda de agua de amasado.

Para ello se realizó un estudio de los diferentes áridos existentes en el mercado de granulometría fina.

El árido que se decidió emplear para la realización de los ensayos fue la **Micromar 250** de la casa comercial Aymar. Los hechos que motivaron el empleo de esta tipología de árido son dos: en primer lugar la finura, y en segundo lugar el elevado contenido de CaCO_3 , que nos lleva a pensar que la afinidad química con los soportes existentes durante la inyección será mayor.

Propiedades de la Micromar 250 de Aymar:

De la ficha técnica aportada por la empresa Aymar y que se adjunta en el anexo de este trabajo, se han extraído los siguientes datos:

Constituyentes:

Árido fino de mármol dolomítico triturado. Contenido de Mg del 18-30%.

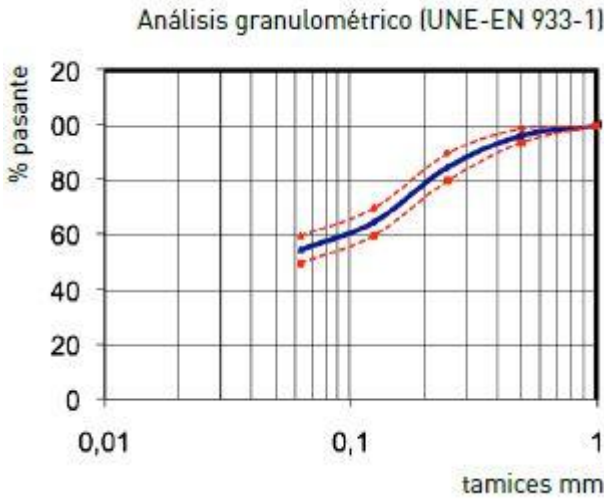
Características geométricas:

Tamiz	% de árido pasado	Tolerancias
0,63	55	50-60
0,25	85	80-90
1	100	100-100

Otras características geométricas:

Características	Norma	Valor
Distribución granulométrica	-	0-1 mm
Contenido de finos	UNE-EN 933-10	Categoría 5- f_{60}
Calidad de los finos	UNE-EN 933-8	100 EA
Calidad de los finos	UNE-EN 933-9	0,00 % AM

Gráfica del análisis granulométrico:



Características mecánicas y físicas:

Características	Norma	Resultado
Densidad de las partículas	UNE-EN 1097-6	2,81 mg/m^3
Absorción de agua	UNE-EN 1097-6	0,1 % WA

Características químicas:

Características	Norma	Resultado
Contenido de cloruros	UNE-EN 1744-1/7	0,00 % C
Contenido de sulfatos	UNE-EN 1744-1/12	AS_{02}
Contenido de azufre	UNE-EN 1744-1/11	0,00 % S
Contenido de hidróxido de sodio	UNE-EN 1744-1	< solución patrón
Variación del tiempo de endurecimiento	-	+ 10 min
Variación de la resistencia a la compresión	-	- 1,23 %
Material soluble en agua	UNE-EN 1744-1/16	0,23 %
Perdida por calcinación	UNE-EN 1744-1/17	47,03 %



FIG. 69: Vista exterior del recipiente del Rheomix GT 250 MA de la casa Basf.



FIG. 70: Apariencia de la lechada despues de añadirle Rheomix GT 250 MA de la casa Basf.

7.5 ADITIVO REDUCTOR DE AGUA

Una vez determinada la gran cantidad de agua que tenía el mortero y la falta de fluidez que producía no poder utilizar grandes cantidades de agua a la hora de amasar, Se pensó la posibilidad de introducir un producto que nos permitiera obtener un mortero lo suficiente fluido, suponiendo que la fluidez óptima se basa en la experiencia del PLM (sin producir pérdidas en las prestaciones del mortero como podría ser la baja resistencia o la alta porosidad).

Para poder dar respuesta a esta nueva necesidad, se llevó a cabo una búsqueda de aditivos (que fue complicada dado que todos los aditivos reductores de agua existentes en el mercado están enfocados para emplearlos en hormigones y morteros en base de cemento).

De todos los fabricantes o distribuidores consultados, el que mejor se adaptó a nuestras exigencias fue Basf, haciéndonos llegar el **Rheomix GT 250 MA**, aunque no es un aditivo específico para morteros de cal.

Propiedades del Rheomix GT 205 MA de Basf:

Del prontuario de la empresa Basf, del que se ha hecho una copia que se adjunta al anexo de este trabajo, se han extraído los siguientes datos:

Descripción del tipo de aditivo:

Aditivo súper – plastificante / reductor de agua de alta actividad para la preparación de morteros autonivelantes, indicado para la preparación de morteros autonivelantes, de elevada fluidez, sin exudación y de alta calidad que podrían ser aplicadas sin medios de compactación.

Propiedades del aditivo:

- Elevado poder plastificante.
- Evita la exudación de la masa del mortero.
- Proporciona un gran mantenimiento de la trabajabilidad.
- Facilita el bombeo del mortero.

Dosificaciones recomendadas:

La dosificación recomendada es del 0,7 – 2,5% sobre el peso del cemento.

Estas dosificaciones son orientativas y deberán de determinar para cada caso.

Características técnicas:

Propiedades	Unidades	Resultados obtenidos
Aspecto físico	-	Polvo beige
Densidad a 20°C	g/cm ³	0,870 – 0,970
pH	-	6 ± 1
Cloruros	%	< 0,1
Función principal	-	Súper plastificante –
Función secundaria	-	Cohesionante
Efectos secundarios	-	Posible disgregación

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Éste proyecto no hubiera sido posible sin la ayuda de todas esas personas que de una manera u otra han intervenido en el proyecto, empezando por nuestros tutores J. Formosa, Judith Ramírez y J.R. Rosell que nos han brindado la oportunidad de realizar esta oferta del departamento de Materiales de la EPSEB.

Joan Formosa ha sido una ayuda constante y cercana en que nos ha ayudado mucho y ha realizado un seguimiento muy cercano en nuestras tareas relacionadas con dicho proyecto, Judith Ramírez nos ha aportado la conexión necesaria para llevar el trabajo adelante como grupo, llevó una gran organización y orden que nos ayudó a llevar el trabajo de una forma más ordenada, y J.R. Rosell ha aportado sus gran conocimiento y experiencia para poder dar cada paso en todo éste tiempo.

También agradecemos a los otros profesores del departamento de materiales como Antonia Navarro y Marc por sus grandes aportes y colaboración, así como a José Soberón del departamento de Construcción, por su ayuda en el tratamiento de imágenes.

A todos los proveedores de materiales, como Aymar, y BASF, que gratuitamente nos dieron muestras de sus productos para realizar las pruebas y dosificaciones.

Por último, dar gracias a nuestras familias, que han sido de gran apoyo en todo este tiempo. Siempre estaremos agradecidos a la EPSEB, por éstos maravillosos años de aprendizaje, ya que hoy termina ésta etapa en la universidad pero siempre estaremos para futuras ayudas que podamos brindar.

A todos, Muchísimas gracias!

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS Y DOCUMENTACIÓN

Desarrollo de material en base de cal, micro sílice y nano sílice (ROSER PUCHOL)

Evaluation of lime-based hydraulic injection grouts for architectural surfaces (LESLIE RAINER, 2013)

Residuo nanosílice: alternativa ambiental para producir morteros y hormigones (PUENTE, L.; ALONSO, C.; ZAMORANO, Y., 2011)

La inyección de cales en la consolidación de las fábricas, estudio e investigación aplicada en la Catedral de Sta. María de Vitoria-Gasteiz (Santa Maria Katedrala Fundazioa - Fundación Catedral Santa María)

Combined effect of superplasticizer, silica fume and temperature in the Performance of natural hydraulic lime grout (LUIS G. BALTAZAR)

Natural hydraulic lime based grouts – The selection of grout injection parameters for masonry consolidation. (ANA BRAS)

Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico (MINGARRO, F., 1996)

Nuevo método para la consolidación de pinturas murales basadas en dispersiones de cal viva en alcohol (GIORGI, R.; DEI, L; BAGLIONI, 2001)

Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración (SEPULCRE, A., 2005)

Max Injection Cal (Casa comercial)

WEBS CONSULTADAS

www.aenor.com (Normas UNE) (6/3/14 – 11:15:07)

www.kimia.com (Casa comercial de productos similares) (3/2/14 - 18:23:11)

www.mapei.com (Casa comercial de productos similares) (3/2/14 – 19:00:04)

<http://www.elblogdeapa.com/construction/> (Blog de construcción) (1/2/14 – 15:34:10)

GRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE GRADO

AJUSTES ÓPTIMOS DE MORTEROS DE CAL CON MICRO Y NANO SÍLICE (I)

VOLUMEN 2

Proyectistas: Imanol Arregi Intxausti

Directores: Joan Ramon Rosell Amigo

Judith Ramirez Casas

Joan Formosa Mitjans

Convocatoria: Junio 2014

ÍNDICE DE CONTENIDOS VOLUMEN 2:

RESUMEN	RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES PRUEBAS REALIZADAS
ANEJO 1.	FICHAS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LAS PASTADAS
ANEJO 2.	ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACIDAD
ANEJO 3.	ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DEL TRATAMIENTO DE IMÁGENES
ANEJO 4.	ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE VISCOSIDAD
ANEJO 5.	ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD
ANEJO 6.	ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DEL MÓDULO ELÁSTICO
ANEJO 7.	ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES PRUEBAS REALIZADAS

TABLA COMPARATIVA DE MOE Y TENSIONES ENTRE LAS 4 DOSIFICACIONES FINALES VS. DOSIFICACIONES DEL PROYECTO DE SEGUIMIENTO + MORTERO CREADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS																		
PABLO + IMANOL	ESTADO FRESCO																	
	Consistencia (cm)	Retracción	Viscosidad															
TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS																		
ESTADO ENDURECIDO																		
MOE longitudinal ultrasonidos (Gpa)	MOE longitudinal impacto (Gpa)	MOE transversal impacto (Gpa)	Coeficiente de Poisson (S/u)	Tensión máxima flexión (Mpa)	Tensión máxima compresión (Mpa)	Densidad relativa (kg/dm3)	Densidad aparente (kg/dm3)	Porosidad (%)	Coeficiente absorción capilar (kg/(m2*min 1/2)	Coeficiente desorción (%Se/horas)	Factor a la resistencia a la difusión de 18% a 50% (μ)	Factor a la resistencia a la difusión de 95% a 50% (μ)	Carbonatación (T= total; P= parcial)	Resistencia cristalización NaSO4 (T= total, P= parcial, N/R= No resistente)				
Productos formulados																		
3:1 CL	8,4	M	B	6,345	6,435	2,435	0,18	3,54	43,02	2,008	1,737							
3:1 CL 0,5	8,4	M	B	6,169	6,272	2,414	0,18	4,45	40,48	1,976	1,688							
2:1 NHL	8,4	N	B	5,103	4,875	2,329	0,18	1,78	35,41	1,605	1,605							
2:1 NHL 0,5	8,4	N	B	3,411	0,671	2,058	0,18	1,64	3,32	1,534	1,533							
Productos comparativos				Productos comparativos														
Cal aérea S/Zeolita	8,4	M	B	5,5	4,5	3,9	0,18	3	42,7	1,6	2,6	34,8	0,34	-0,09	8,42	5,21	T	P
Cal aérea con Zeolita	8,4	M	B	7	6	5,1	0,18	3,4	43,9	1,7	2,5	34,2	0,21	-0,11	7,25	1,41	T	T
Cal hidráulica S/Zeolita	8,4	N	B	2,7	1,9	1,7	0,16	1,7	32,1	1,6	2,6	40,1	0,66	-0,08	6,38	2,31	T	P
Cal hidráulica con Zeolita	8,4	N	B	3,8	2,9	2,5	0,17	3	43,3	1,6	2,6	39	0,59	-0,08	5,94	1,49	T	T
Productos comparativos				Productos comparativos														
LAB (Proyecto EPSEB 2010)	--	--	--	9,2	8,9	8,7	--	3,7	11,6	1,7	2,6	34,7	0,863	--	9	31,4	P	N/R
PLM (CTS)	8,4	N	B	--	--	--	--	2,6	--	--	--	--	0,65	--	--	--	--	--

1 FICHAS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LAS PASTADAS



PROCEDIMIENTO TEÓRICO

Ante la imposibilidad de realizar un ensayo tipificado por alguna de las normas para ensayar las consistencias de las mezclas (hacen siempre referencia a volúmenes muy elevados de material o consistencias mucho más elevadas), se determina realizar un ensayo tipificado para este estudio.

Norma de referencia

UNE 455 2007

Ensayos de referencia*Instrumental de laboratorio*

1. Cono de Abrams: Molde de forma troncocónica, diámetro superior 100 mm y diámetro inferior 200 mm.
2. Base de apoyo: Placa de acero de medidas aproximadas 850x850 mm y 12 mm de espesor. La placa tiene dos circunferencias concéntricas, una de 200 mm de diámetro y otra de 500 mm.

Procedimiento del ensayo

- a) Colocar el cono en el centro de la circunferencia.
- b) Rellenar el cono con la muestra (sin compactar).
- c) Enrasar la mezcla con el cono.
- d) Levantar el cono para liberar la mezcla sobre el vidrio.
- e) Toma de medidas de los 4 radios que determina la muestra extendida sobre la placa de acero.

Datos a obtener del ensayo

Radio de la circunferencia que determina la muestra sobre la placa base de acero.

Imagen de los elementos empleados en el ensayoEnsayo modificado*Instrumental de laboratorio*

1. Tubo circular: Tubo metálico de 3,6 cm de diámetro interior y de 5,1 cm de altura.
2. Base de apoyo: Vidrio de 50x50 cm. El vidrio lleva incorporado por la parte inferior un papel con diversas circunferencias concéntricas (1 por mm) con el fin de facilitar las lecturas. Las circunferencias están divididas por 4 ejes, que determinan las lecturas a realizar.

Procedimiento del ensayo

- a) Colocar el tubo circular en el centro del vidrio, con la ayuda de la marca del papel.
- b) Rellenar el tubo con la muestra (sin compactar).
- c) Enrasar la mezcla con el tubo.
- d) Levantar el tubo para liberar la mezcla sobre el vidrio.
- e) Toma de medidas de los 8 radios que determina la muestra extendida sobre la placa de vidrio.

Datos a obtener del ensayo

Radio de la circunferencia que determina la muestra sobre la placa base de vidrio.



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Montaje de los elementos

- a) Colocamos el vidrio de soporte sobre una superficie lisa y horizontal. En caso de que existiera alguna pendiente (hecho que contrastamos con el empleo de un nivel), situaremos unos pequeños elementos que compensen este desnivel.
- b) Una vez alineado y nivelado el vidrio, situamos sobre el vidrio y en la zona central el tubo metálico previamente descrito, con la ayuda de las marcas del papel pegado en la parte inferior del vidrio.

Imagen de los elementos empleados y su montaje en el laboratorio

Vidrio: base de apoyo

Tubo metálico

Vidrio y tubo metálico preparados

Materiales empleados para el ensayo

Agua	
Cal	CL - 90 S (Pachs)
Cal	NHL 3,5 (St. Astier)
μ Si O ₂	Microsilíce 971 U (Elkem)
η Si O ₂	Nanosilíce 999 (Elkem)
Árido	Micromar 250 (Aymar)

Aditivo empleado en las mezclas

Aditivo	Rheomix GT 250 MA (BASF)
---------	--------------------------

Amasado tipificado para los ensayos

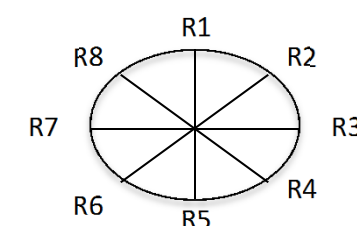
3 minutos de amasado a mano
1 minuto amasado amasadora eléctrica
0,5 minutos amasado a mano (comprobación)

Intervalos en los que tomaremos los datos

Para comprobar los radios de la mezcla en diferentes tiempos y poder contrastar los datos, se anotarán los datos a los 5 minutos de la retirada del tubo metálico en el que está la mezcla estudiada.

Resultados del ensayo

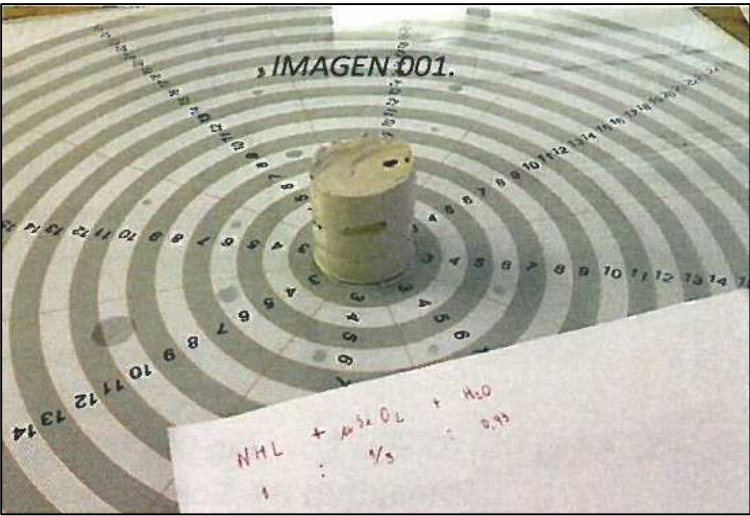
Toma de 8 radios de la base

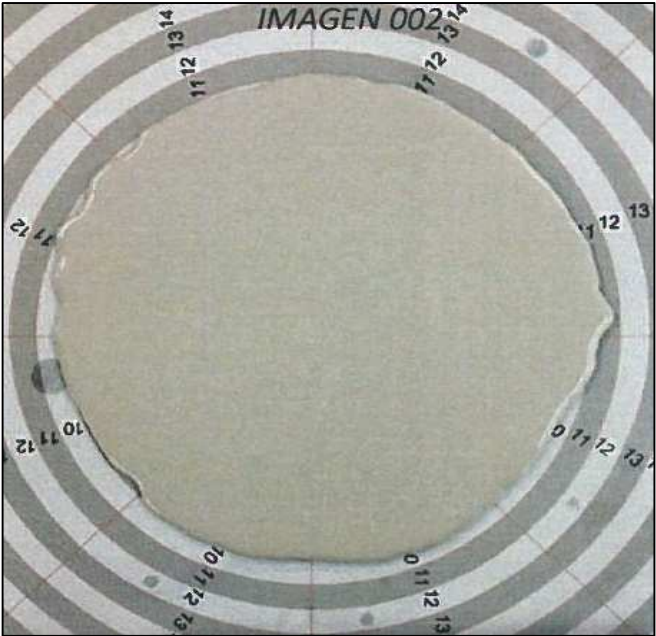
Expresión de los resultados obtenidos

R1	R5
R2	R6
R3	R7
R4	R8

Cálculo del valor medio

$$R_{\text{medio}} = (R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 + R8) / 8$$

MEZCLA 1	Fecha: 08 / 02 / 2013
<div>Materiales utilizados en el ensayo</div> <div> <div>30 gramos de NHL</div> <div>10 gramos de μ Si O₂</div> <div>0 gramos de η Si O₂</div> <div>Agua = 0,93 * (30 + 10) = 37,20 gramos</div> <div>0 gramos de Aditivo</div> </div> <div>Dosificación del ensayo</div> <div>1 NHL + 1/3 μ Si O₂ + 0.93 H₂ O</div>	<div>Amasado</div> <div>Tipificado</div> <div>Observaciones sobre el ensayo</div> <div> <div>Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).</div> </div> <div>Observaciones sobre el ensayo</div> <div> <div>Podemos determinar que con el 0,93 de H₂O y sin añadir ningún tipo de aditivo no tiene fluidez alguna. No se precisa la toma de datos a los 30 minutos ni a los 60 minutos observando los resultados obtenidos. Tras tres días, observamos que la mezcla 1 es la que más retracciones ha sufrido de las que están en contacto con el CO₂.</div> </div> <div>Imágenes del ensayo</div> <div>  </div>

MEZCLA 2	Fecha: 08 / 02 / 2013
<div>Materiales utilizados en el ensayo</div> <div> <div>30 gramos de NHL</div> <div>10 gramos de μ Si O₂</div> <div>0 gramos de η Si O₂</div> <div>Agua = 0,93 * (30 + 10) = 37,20 gramos</div> <div>3,86 gramos de Aditivo</div> </div> <div>Dosificación del ensayo</div> <div>1 NHL + 1/3 μ Si O₂ + 0.93 H₂ O + 5 % Aditivo</div>	<div>Amasado</div> <div>Tipificado</div> <div>Observaciones sobre el ensayo</div> <div> <div>Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).</div> </div> <div>Observaciones sobre el ensayo</div> <div> <div>Podemos determinar que con el 0,93 de H₂O y añadiendo 3,86 gramos de aditivo (5 %) tiene demasiada fluidez. También se observa una pequeña segregación de partículas sólidas del material en el fondo de la mezcla realizada. No se precisa la toma de datos a los 30 minutos ni a los 60 minutos observando los resultados obtenidos. Tras tres días, observamos que la mezcla 2 es la segunda mezcla en contacto con el CO₂ ambiente que menos retracciones ha sufrido.</div> </div> <div>Imágenes del ensayo</div> <div>  </div>

MEZCLA 3		Fecha: 08 / 02 / 2013	
Materiales utilizados en el ensayo			
30 gramos de NHL			
10 gramos de μ Si O ₂			
0 gramos de η Si O ₂			
Agua = 0,93 * (30 + 10) = 37,20 gramos			
0 gramos de Aditivo			
Dosificación del ensayo			
1 NHL + 1/3 μ Si O ₂ + 0.93 H ₂ O			
Tabla de resultados (5 minutos)			
3,00	3,00	3,00	3,00
3,00	3,00	3,00	3,00
3,00	3,00	3,00	3,00
3,00	3,00	3,00	3,00
Cálculo del valor medio			
Radio Medio		3,00 cm	
Tabla de resultados (30 minutos)			
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
Cálculo del valor medio			
Radio Medio		-	
Tabla de resultados (60 minutos)			
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
Cálculo del valor medio			
Radio Medio		-	

Amasado	
Tipificado	
Observaciones sobre el ensayo	
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO ₂ ambiente).	
Observaciones sobre el ensayo	
Podemos determinar que con el 0,93 de H ₂ O y sin añadir ningún tipo de aditivo no tiene fluidez alguna. No se precisa la toma de datos a los 30 minutos ni a los 60 minutos observando los resultados obtenidos. Tras tres días, observamos que la mezcla 3 ya ha endurecido y no queda agua sobrante.	
Imágenes del ensayo	

MEZCLA 4

Fecha: 08 / 02 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

30 gramos de NHL

10 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,93 * (30 + 10) = 37,20 gramos

3,86 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 NHL + 1/3 μ Si O₂ + 0.93 H₂ O + 5 % Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

10,97	11,10
10,80	11,05
11,05	10,99
11,02	11,02

Cálculo del valor medio

Radio Medio 11,00 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado


Observaciones sobre el ensayo


Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,93 de H₂O y añadiendo 3,86 gramos de aditivo (5 %) tiene demasiada fluidez. También se observa una pequeña segregación de partículas sólidas del material en el fondo de la mezcla realizada. No se precisa la toma de datos a los 30 minutos ni a los 60 minutos observando los resultados obtenidos. Tras tres días, observamos que la mezcla 4 ha endurecido algo y aún le queda aguasobrante.

Imágenes del ensayo

MEZCLA 5		Fecha: 08 / 02 / 2013									
Materiales utilizados en el ensayo		Amasado									
20 gramos de CL - 90		Tipificado									
20 gramos de μ Si O ₂		Observaciones sobre el ensayo									
0 gramos de η Si O ₂		Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO ₂ ambiente).									
Agua = 2 * (20 + 20) = 80,00 gramos											
0 gramos de Aditivo											
Dosificación del ensayo											
1 CL - 90 + 1 μ Si O ₂ + 2 H ₂ O											
Tabla de resultados (5 minutos)		Observaciones sobre el ensayo									
<table><tr><td>9,56</td><td>9,60</td></tr><tr><td>9,47</td><td>9,51</td></tr><tr><td>9,44</td><td>9,47</td></tr><tr><td>9,46</td><td>9,49</td></tr></table>		9,56	9,60	9,47	9,51	9,44	9,47	9,46	9,49	Podemos determinar que con 2 de H ₂ O y sin añadir ningún tipo de aditivo tiene una fluidez cercana al PLM. No se precisa la toma de datos a los 30 minutos ni a los 60 minutos observando los resultados obtenidos. Tras tres días, observamos que la mezcla 5 no ha endurecido pero ya no le queda agua sobrante.	
9,56	9,60										
9,47	9,51										
9,44	9,47										
9,46	9,49										
Cálculo del valor medio		Imágenes del ensayo									
Radio Medio 9,50 cm											
Tabla de resultados (30 minutos)											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>				-	-	-	-	-	-	-	-
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
Cálculo del valor medio											
Radio Medio -											
Tabla de resultados (60 minutos)											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
Cálculo del valor medio											
Radio Medio -											

MEZCLA 6		Fecha: 08 / 02 / 2013									
Materiales utilizados en el ensayo		Amasado									
20 gramos de CL - 90		Tipificado									
20 gramos de μ Si O ₂		Observaciones sobre el ensayo									
0 gramos de η Si O ₂		Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO ₂ ambiente).									
Agua = 2 * (20 + 20) = 80,00 gramos											
0 gramos de Aditivo											
Dosificación del ensayo											
1 CL - 90 + 1 μ Si O ₂ + 2 H ₂ O											
Tabla de resultados (5 minutos)		Observaciones sobre el ensayo									
<table><tr><td>9,56</td><td>9,60</td></tr><tr><td>9,47</td><td>9,51</td></tr><tr><td>9,44</td><td>9,47</td></tr><tr><td>9,46</td><td>9,49</td></tr></table>		9,56	9,60	9,47	9,51	9,44	9,47	9,46	9,49	Podemos determinar que con 2 de H ₂ O y sin añadir ningún tipo de aditivo tiene una fluidez cercana al PLM. No se precisa la toma de datos a los 30 minutos ni a los 60 minutos observando los resultados obtenidos. Tras tres días, observamos que la mezcla 6 es la segunda mezcla en contacto con el CO ₂ ambiente que más retracciones ha sufrido.	
9,56	9,60										
9,47	9,51										
9,44	9,47										
9,46	9,49										
Cálculo del valor medio		Imágenes del ensayo									
Radio Medio 9,50 cm											
Tabla de resultados (30 minutos)											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>				-	-	-	-	-	-	-	-
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
Cálculo del valor medio											
Radio Medio -											
Tabla de resultados (60 minutos)											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
Cálculo del valor medio											
Radio Medio -											

MEZCLA 7

Fecha: 08 / 02 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

20 gramos de CL - 90

20 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1 * (20 + 20) = 40,00 gramos

4 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 1 μ Si O₂ + 1 H₂ O + 5 % Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

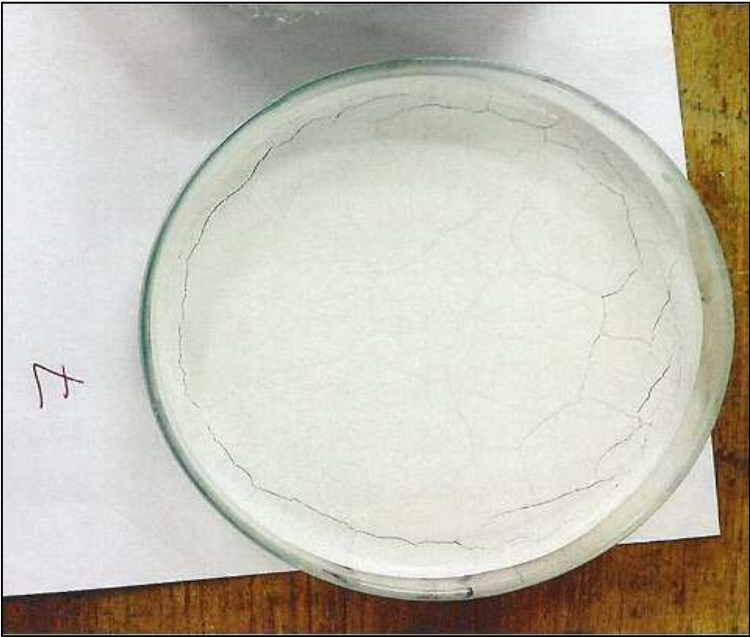
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Tras tres días, observamos que la mezcla 7 es la mezcla en contacto con el CO₂ ambiente que menos retracciones ha sufrido.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 8

Fecha: 08 / 02 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

20 gramos de CL - 90

20 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1 * (20 + 20) = 40,00 gramos

4 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 1 μ Si O₂ + 1 H₂ O + 5 % Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Tras tres días, observamos que la mezcla 8 no ha endurecido pero ya no le queda agua sobrante.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 9

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de NHL

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,60 * (80) = 48,00 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 NHL + 0,60 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

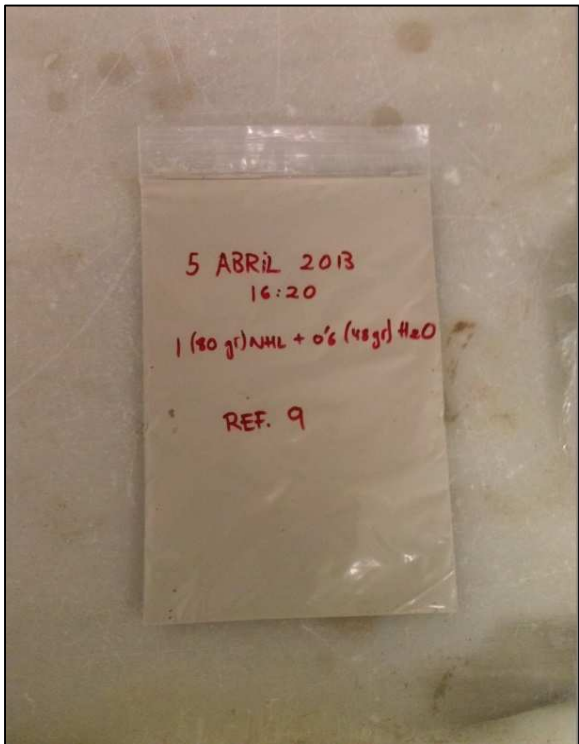
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

A la hora de pastar observamos que la mezcla 9 adquiere una consistencia fluida al instante (muy fácil de remover).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 10

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de NHL

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,60 * (80) = 48,00 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 NHL + 0,60 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

A la hora de pastar observamos que la mezcla 10 adquiere una consistencia fluida al instante (muy fácil de remover).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 11

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de NHL

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,40 * (80) = 32,00 gramos

4 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 NHL + 0,40 H₂ O + 5 % Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

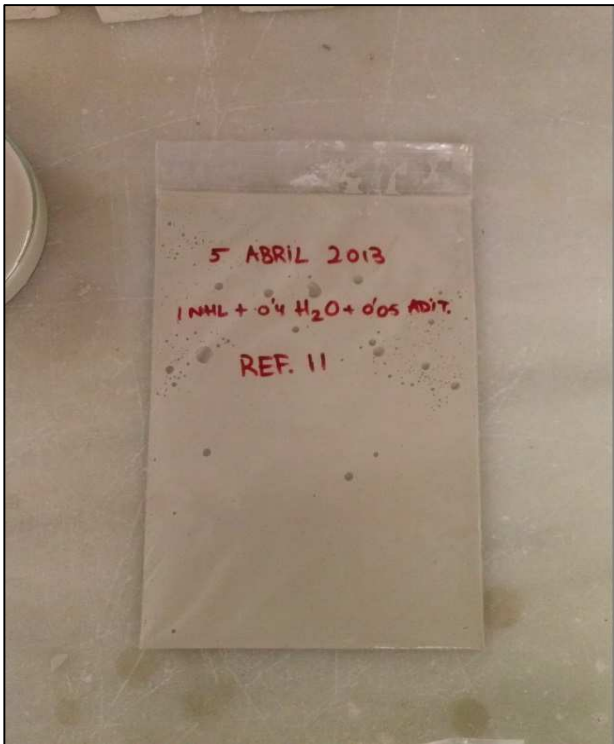
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

A la hora de pastar observamos que la mezcla 11 es menos fluida que las mezclas 9 y 10, dado que para adquirir la fluidez de las mezclas mencionadas se necesitan 10 minutos de amasado.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 12

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de NHL

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,40 * (80) = 32,00 gramos

4 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 NHL + 0,40 H₂ O + 5 % Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

A la hora de pastar observamos que la mezcla 12 es menos fluida que las mezclas 9 y 10, dado que para adquirir la fluidez de las mezclas mencionadas se necesitan 10 minutos de amasado.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 13

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de CL - 90

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,60 * (80) = 48,00 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,60 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

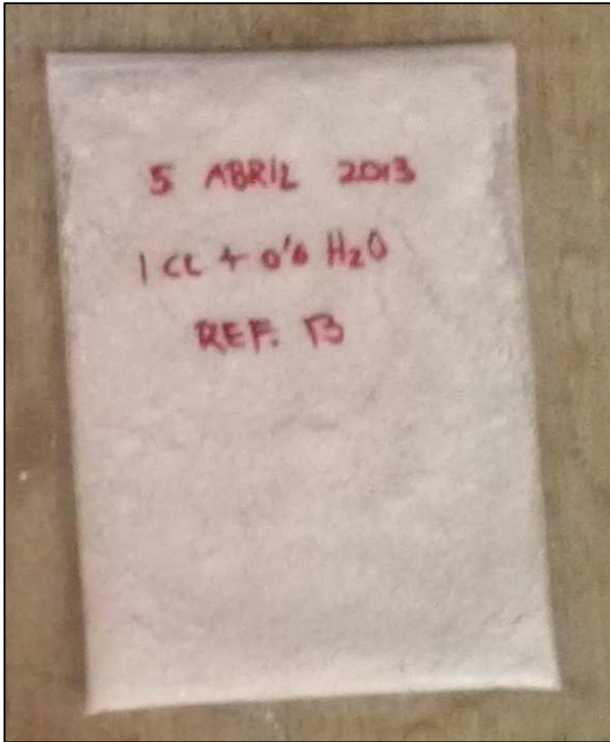
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

A la hora de pastar observamos que la mezcla 13 manifiesta una evidente falta de agua, por lo que procederemos a la realización de una nueva dosificación en la que se incrementará la cantidad de agua empleada en la mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 14

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de CL - 90

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,60 * (80) = 48,00 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,60 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

A la hora de pastar observamos que la mezcla 14 manifiesta una evidente falta de agua, por lo que procederemos a la realización de una nueva dosificación en la que se incrementará la cantidad de agua empleada en la mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 15

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de CL - 90

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

0 gramos de Agua

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90

Amasado

No necesario

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

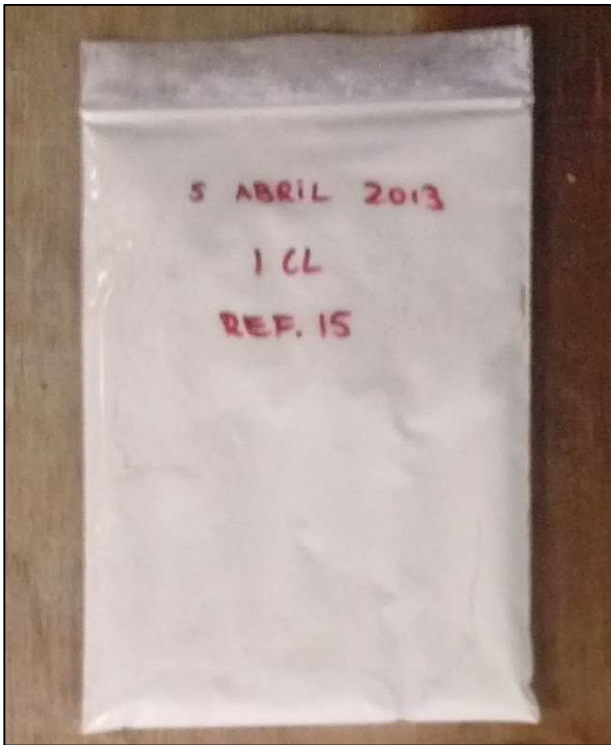
Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Imágenes del ensayo



MEZCLA 16

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de NHL

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

0 gramos de Agua

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 NHL

Amasado

No necesario

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

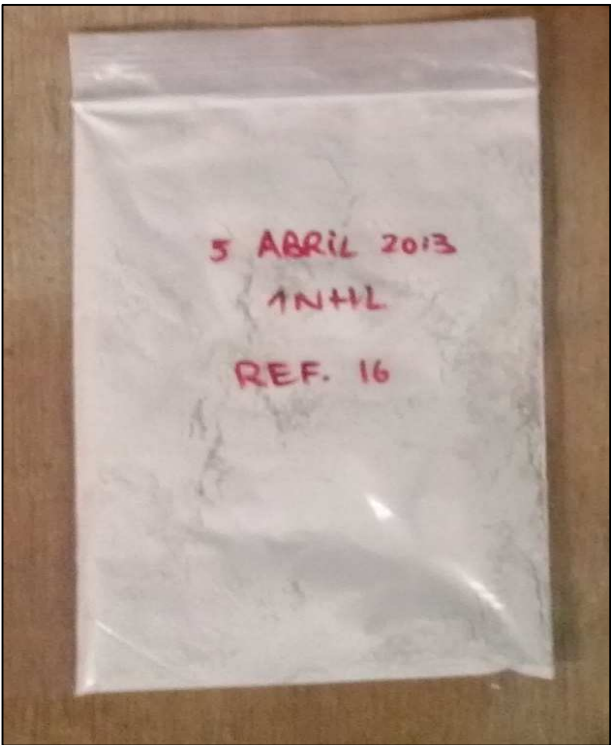
Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Imágenes del ensayo



MEZCLA 17

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de CL - 90

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,85 * (80) = 64,00 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,85 H₂ O

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

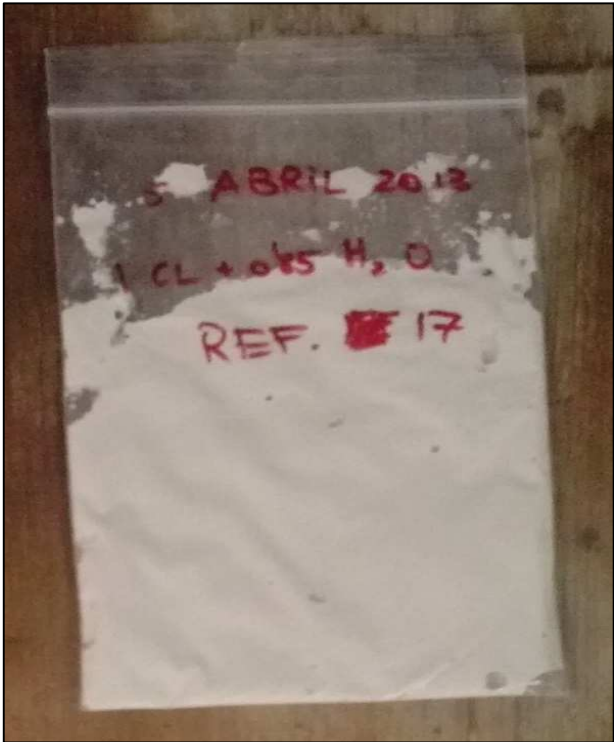
Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Imágenes del ensayo



MEZCLA 18

Fecha: 05 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

80 gramos de CL - 90

0 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 0,85 * (80) = 64,00 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,85 H₂ O

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

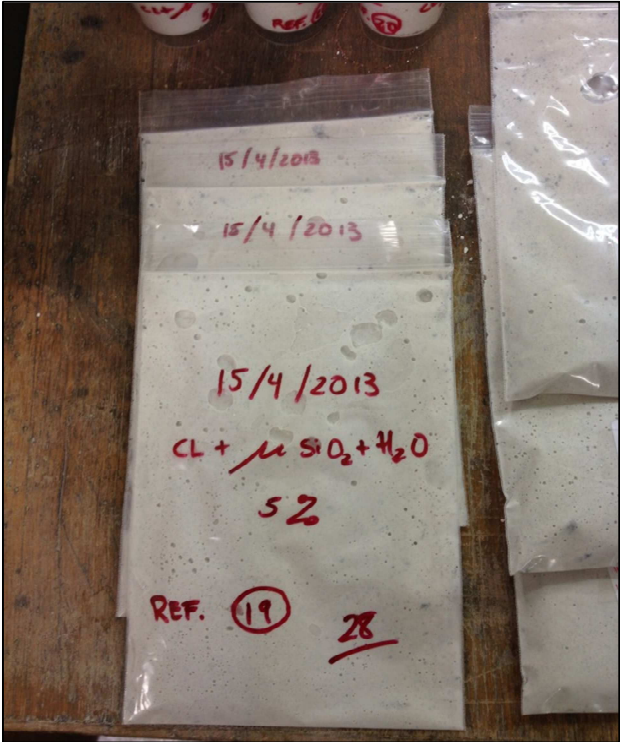
-	-
-	-
-	-
-	-


Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Imágenes del ensayo



MEZCLA 19		Fecha: 15 / 04 / 2013									
<u>Materiales utilizados en el ensayo</u>		<u>Amasado</u>									
100 gramos de CL - 90		Tipificado									
5,26 gramos de μ Si O ₂		<u>Observaciones sobre el ensayo</u>									
0 gramos de η Si O ₂		Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO ₂ ambiente).									
Agua = 1,50 * (100 + 5,26) = 157,89 gramos											
0 gramos de Aditivo											
<u>Dosificación del ensayo</u>		<u>Observaciones sobre el ensayo</u>									
1 CL - 90 + 0,05 μ Si O ₂ + 1,50 H ₂ O		Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.									
<u>Tabla de resultados (5 minutos)</u>		<u>Imágenes del ensayo</u>									
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
<u>Cálculo del valor medio</u>											
Radio Medio -											
<u>Tabla de resultados (30 minutos)</u>											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
<u>Cálculo del valor medio</u>											
Radio Medio -											
<u>Tabla de resultados (60 minutos)</u>											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
<u>Cálculo del valor medio</u>											
Radio Medio -											

MEZCLA 20		Fecha: 15 / 04 / 2013									
<u>Materiales utilizados en el ensayo</u>		<u>Amasado</u>									
100 gramos de CL - 90		Tipificado									
5,26 gramos de μ Si O ₂		<u>Observaciones sobre el ensayo</u>									
0 gramos de η Si O ₂		Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO ₂ ambiente).									
Agua = 1,50 * (100 + 5,26) = 157,89 gramos											
0 gramos de Aditivo											
<u>Dosificación del ensayo</u>		<u>Observaciones sobre el ensayo</u>									
1 CL - 90 + 0,05 μ Si O ₂ + 1,50 H ₂ O		Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.									
<u>Tabla de resultados (5 minutos)</u>		<u>Imágenes del ensayo</u>									
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
<u>Cálculo del valor medio</u>											
Radio Medio -											
<u>Tabla de resultados (30 minutos)</u>											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
<u>Cálculo del valor medio</u>											
Radio Medio -											
<u>Tabla de resultados (60 minutos)</u>											
<table><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td></tr></table>		-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-										
-	-										
-	-										
-	-										
<u>Cálculo del valor medio</u>											
Radio Medio -											

MEZCLA 21

Fecha: 16 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

11,11 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 11,11) = 166,66 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,10 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 22

Fecha: 16 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

11,11 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 11,11) = 166,66 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,10 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 23

Fecha: 17 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

17,65 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 17,65) = 176,47 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,15 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 24

Fecha: 17 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

17,65 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 17,65) = 176,47 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,15 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

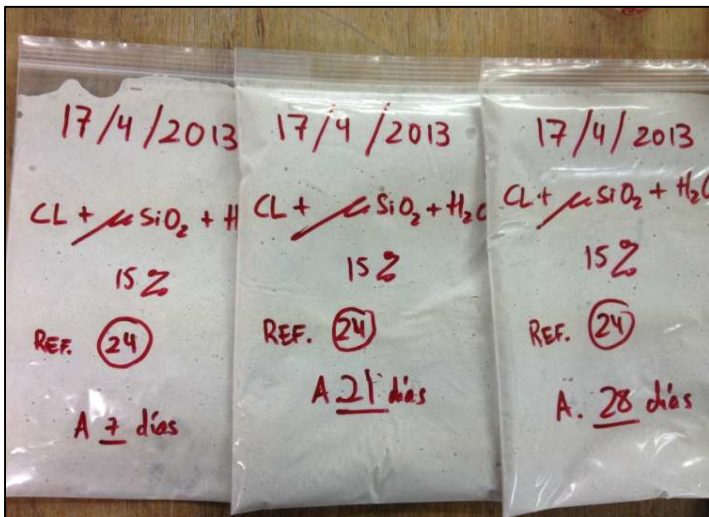
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 25

Fecha: 18 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

25 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 25) = 187,50 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,20 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 26

Fecha: 18 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

25 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 25) = 187,50 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,20 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

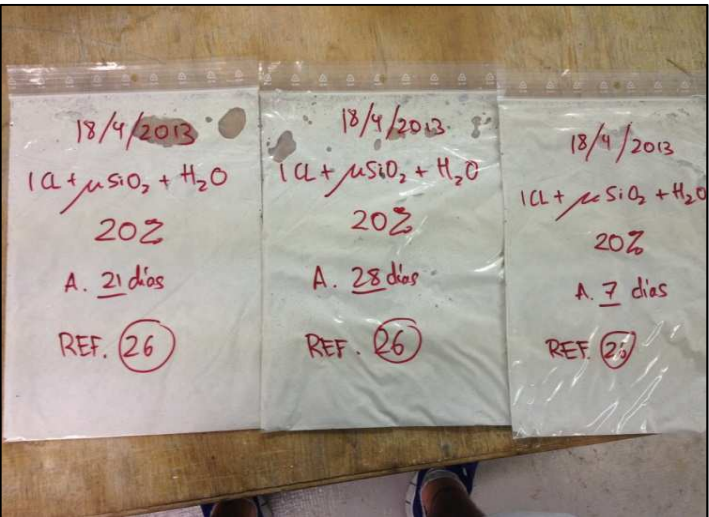
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo



MEZCLA 27

Fecha: 19 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

42,86 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 42,86) = 214,29 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,30 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos sin tapar (en contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo

MEZCLA 28

Fecha: 19 / 04 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

100 gramos de CL - 90

42,86 gramos de μ Si O₂

0 gramos de η Si O₂

Agua = 1,50 * (100 + 42,86) = 214,29 gramos

0 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

1 CL - 90 + 0,30 μ Si O₂ + 1,50 H₂ O

Tabla de resultados (5 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio mediante los análisis tanto gravimétricos como de rayos X. Se distribuye la pastada en 3 partes para su posterior estudio a los 7, 21 y 28 días en el laboratorio de Química de la UB. Lo dejaremos tapado (sin contacto con el CO₂ ambiente).

Observaciones sobre el ensayo

Estas mezclas se realizan para el posterior estudio de la cantidad de agua que se necesita añadir para la realización de una óptima mezcla.

Imágenes del ensayo

MEZCLA 29

Fecha: 22 / 10 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

23,33 gramos de CL - 90

8,99 gramos de μ Si O₂

0,99 gramos de η Si O₂

Agua = 1*(23,33 + 8,99 + 0,99) = 33,33 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,7 CL - 90 + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 1 H₂ O
+ 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

9,3	11,0
10,0	9,4
10,2	9,0
10,1	9,5

Cálculo del valor medio

Radio Medio 9,8 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

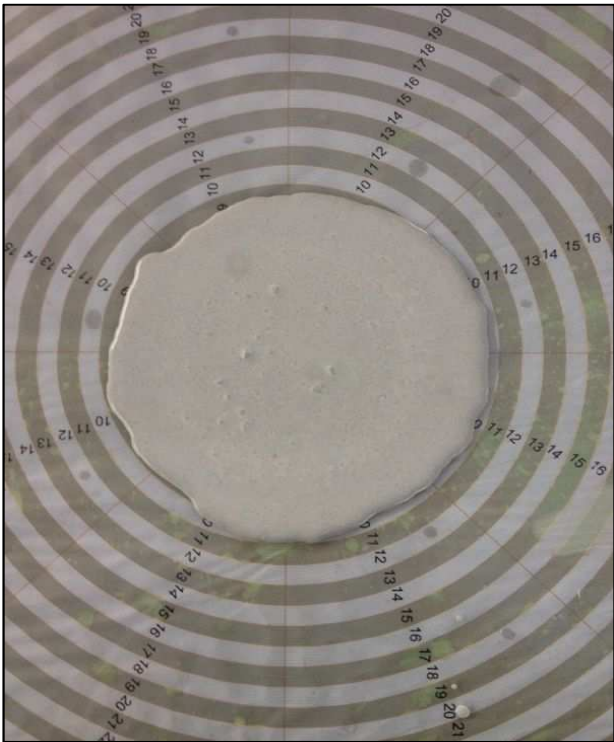
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 1,00 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (9,8 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 30

Fecha: 22 / 10 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

23,33 gramos de CL - 90

8,99 gramos de μ Si O₂

0,99 gramos de η Si O₂

Agua = 0,9*(23,33 + 8,99 + 0,99)=29,99 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,7 CL - 90 + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ +
0,9 H₂ O + 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

9,1	10,1
8,8	10,4
9,2	10,2
9,5	8,9

Cálculo del valor medio

Radio Medio 9,5 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

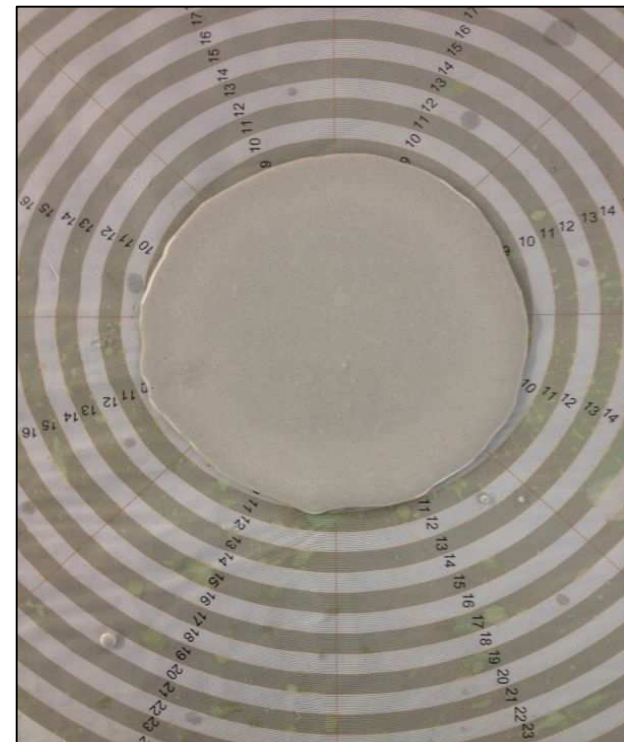
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,90 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (9,5 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 31

Fecha: 22 / 10 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

23,33 gramos de CL - 90

8,99 gramos de μ Si O₂

0,99 gramos de η Si O₂

Agua = 0,85*(23,33 + 8,99 + 0,99)=28,33 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,7 CL - 90 + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ +
0,85 H₂ O + 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

9,3	9,2
9,7	9,3
8,9	9,1
8,7	9,6

Cálculo del valor medio

Radio Medio 9,2 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

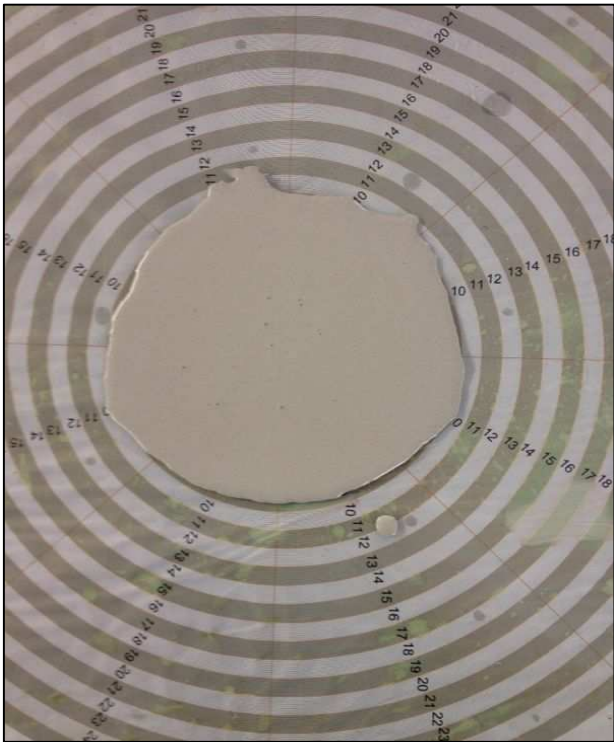
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,85 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (9,2 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 32

Fecha: 22 / 10 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

23,33 gramos de CL - 90

8,99 gramos de μ Si O₂

0,99 gramos de η Si O₂

Agua = 0,82*(23,33 + 8,99 + 0,99)=27,33 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,7 CL - 90 + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ +
0,82 H₂ O + 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,1	8,6
7,9	9,1
8,2	8,4
8,4	8,5

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,4 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

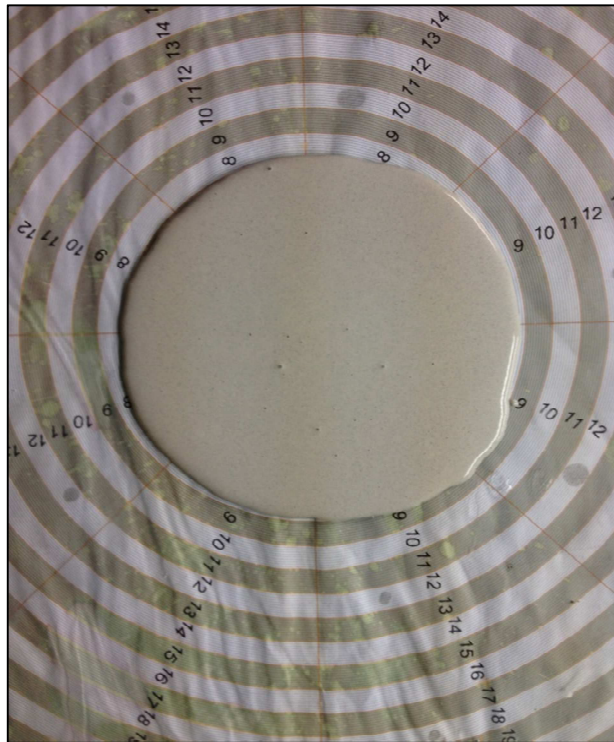
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,82 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es igual al del PLM (8,4 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 33

Fecha: 12 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

28,33 gramos de CL - 90

4,49 gramos de μ Si O₂

0,49 gramos de η Si O₂

Agua = 1,0*(23,33 + 8,99 + 0,99)=33,33 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,85 CL - 90 + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ +
1 H₂ O + 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

9,30	10,10
9,60	9,30
10,00	8,70
10,20	9,10

Cálculo del valor medio

Radio Medio 9,5 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

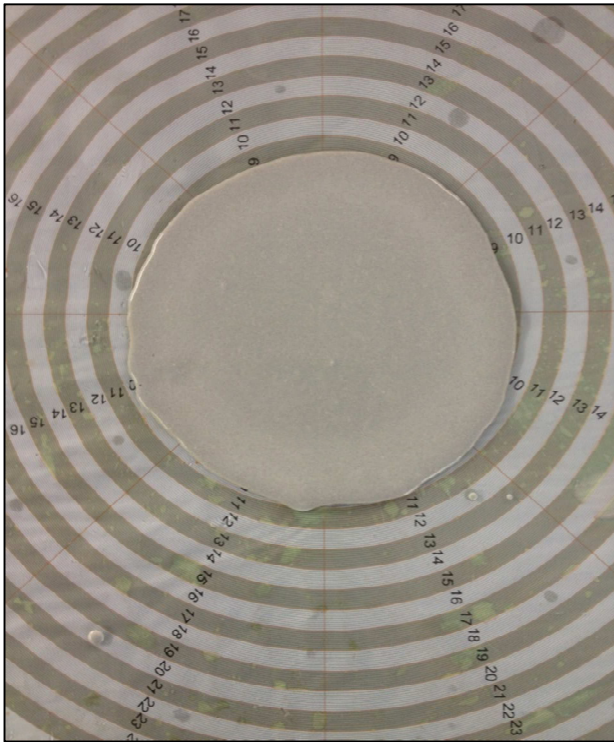
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 1,00 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (9,5 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 34

Fecha: 12 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

28,33 gramos de CL - 90

4,49 gramos de μ Si O₂

0,49 gramos de η Si O₂

Agua = 0,7*(23,33 + 8,99 + 0,99)=23,33 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,85 CL - 90 + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ +
0,7 H₂ O + 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

9,20	9,10
9,60	8,40
9,10	9,10
8,90	8,90

Cálculo del valor medio

Radio Medio 9,0 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

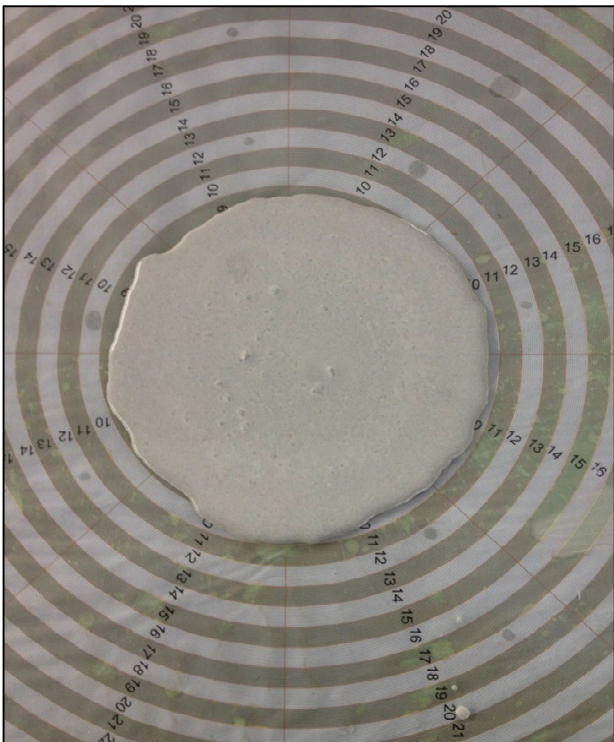
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,70 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (9,0 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 35

Fecha: 12 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

28,33 gramos de CL - 90

4,49 gramos de μ Si O₂

0,49 gramos de η Si O₂

Agua = 0,75*(23,33 + 8,99 + 0,99)=24,99 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,99 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,85 CL - 90 + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ +
0,75 H₂ O + 3 Micromar + 0,09 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

7,9	9,1
7,2	9,2
9,1	8,0
8,5	7,7

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,3 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

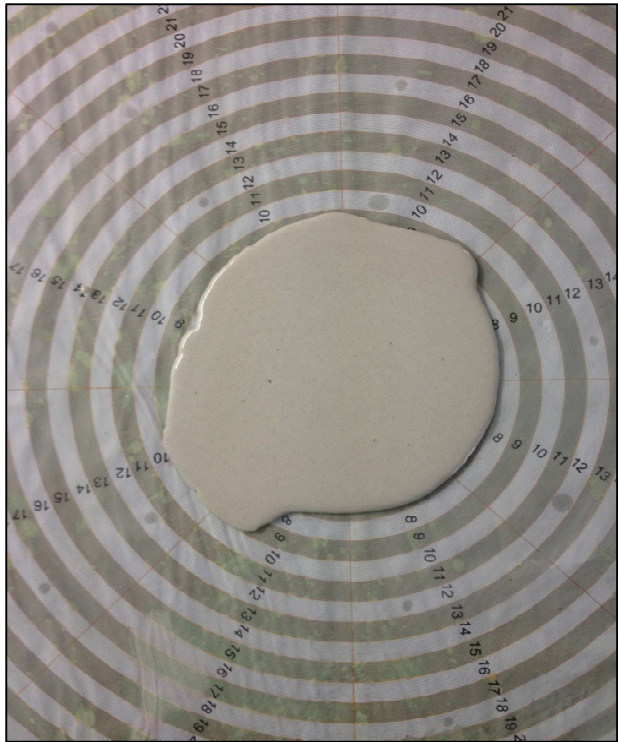
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,75 de H₂O y añadiendo 0,09 de Aditivo, el radio es igual al del PLM (8,3 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 36

Fecha: 14 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

41,20 gramos de NHL

7,95 gramos de μ Si O₂

0,85 gramos de η Si O₂

Agua = 0,8*(41,20 + 7,95 + 0,85)=40,00 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,824 NHL + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ +
0,80 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

9,40	9,30
8,90	9,60
8,80	9,50
8,90	9,70

Cálculo del valor medio

Radio Medio 9,3 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

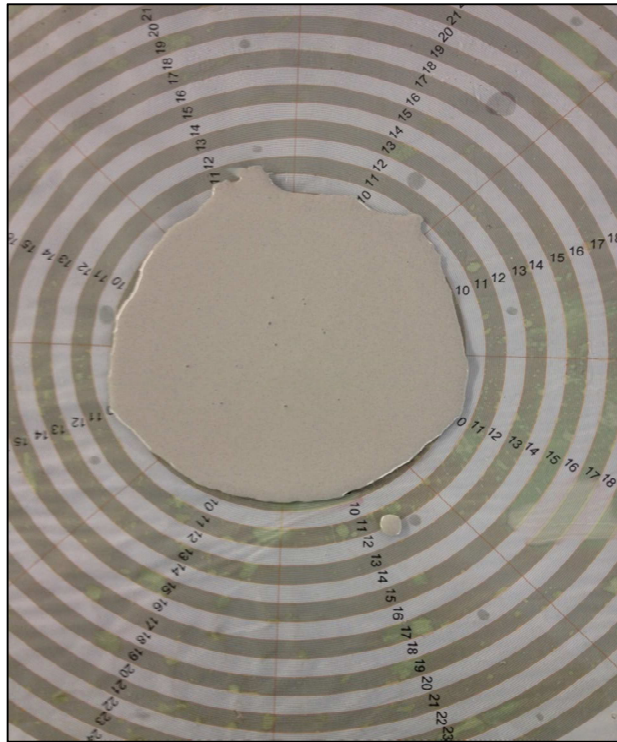
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,80 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (9,3 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 37

Fecha: 14 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

41,20 gramos de NHL

7,95 gramos de μ Si O₂

0,85 gramos de η Si O₂

Agua = 0,7*(41,20 + 7,95 + 0,85)=35,00 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,824 NHL + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ +
0,70 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,60	8,90
8,50	8,60
8,70	8,80
8,80	8,70

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,7 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

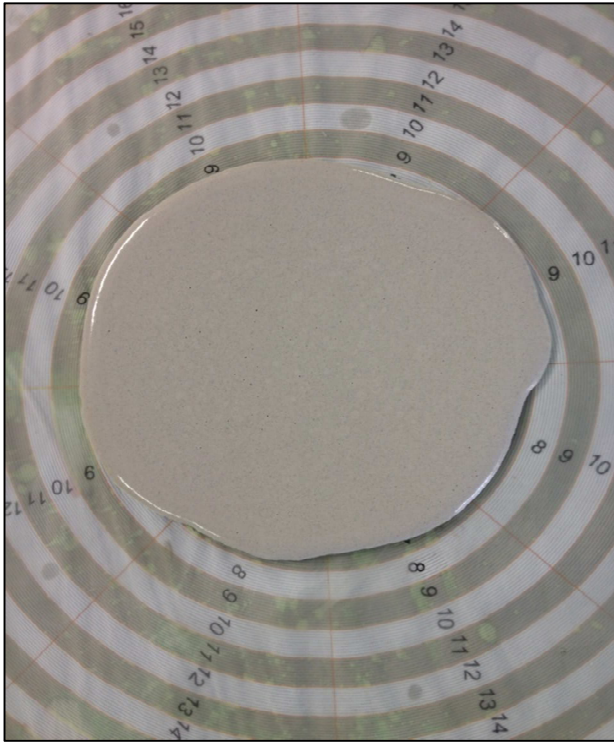
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.
No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,70 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (8,7 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 38

Fecha: 14 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

41,20 gramos de NHL

7,95 gramos de μ Si O₂

0,85 gramos de η Si O₂

Agua = 0,63*(41,20 + 7,95 + 0,85)=31,50 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,824 NHL + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ +
0,63 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,70	8,40
8,50	8,50
8,80	8,80
8,70	8,70

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,6 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

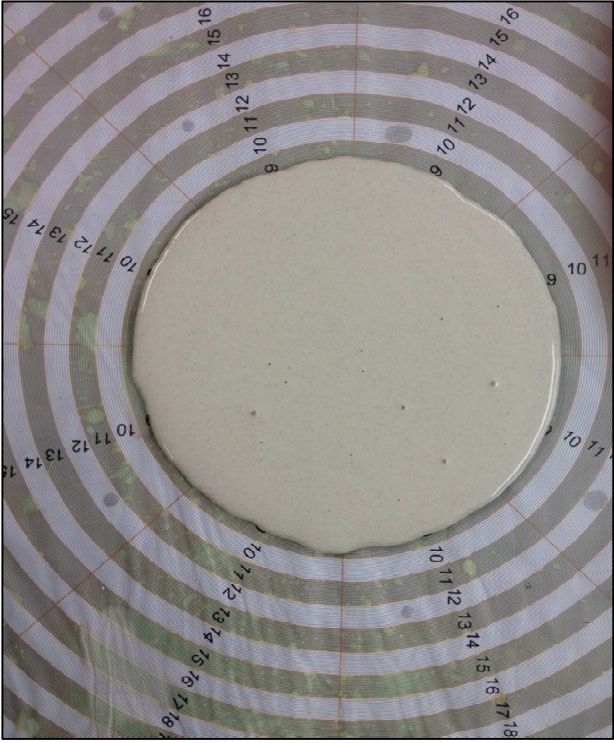
Observaciones sobre el ensayo

Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.
No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,63 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (8,6 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 39

Fecha: 14 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

41,20 gramos de NHL

7,95 gramos de μ Si O₂

0,85 gramos de η Si O₂

Agua = 0,55*(41,20 + 7,95 + 0,85)=27,50 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,824 NHL + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ +
0,55 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,10	8,40
7,70	8,50
7,80	8,20
8,00	8,10

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,1 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

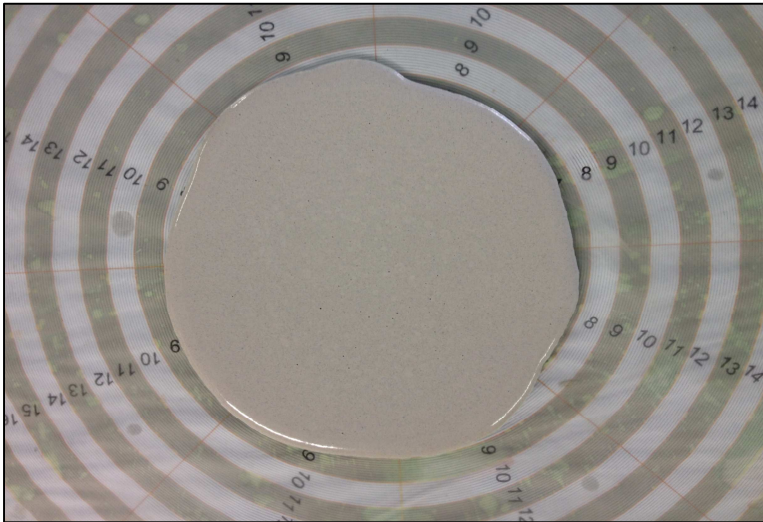
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,55 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es inferior al del PLM (8,1 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 40

Fecha: 15 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

41,20 gramos de NHL

7,95 gramos de μ Si O₂

0,85 gramos de η Si O₂

Agua = 0,60*(41,20 + 7,95 + 0,85)=30,00 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,824 NHL + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ +
0,60 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,5	8,4
7,9	8,9
8,1	8,5
8,3	8,3

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,4 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

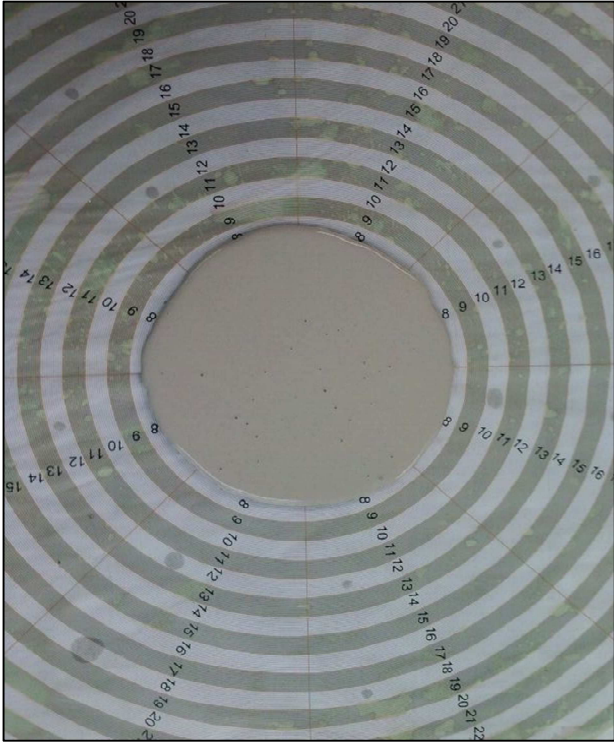
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,60 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es igual al del PLM (8,4 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 41

Fecha: 15 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

47,20 gramos de NHL

2,50 gramos de μ Si O₂

0,30 gramos de η Si O₂

Agua = 0,70*(47,20 + 2,50 + 0,30)=35,00 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,944 NHL + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ +
0,70 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,60	8,60
8,90	7,90
8,70	8,70
8,50	8,70

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,6 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

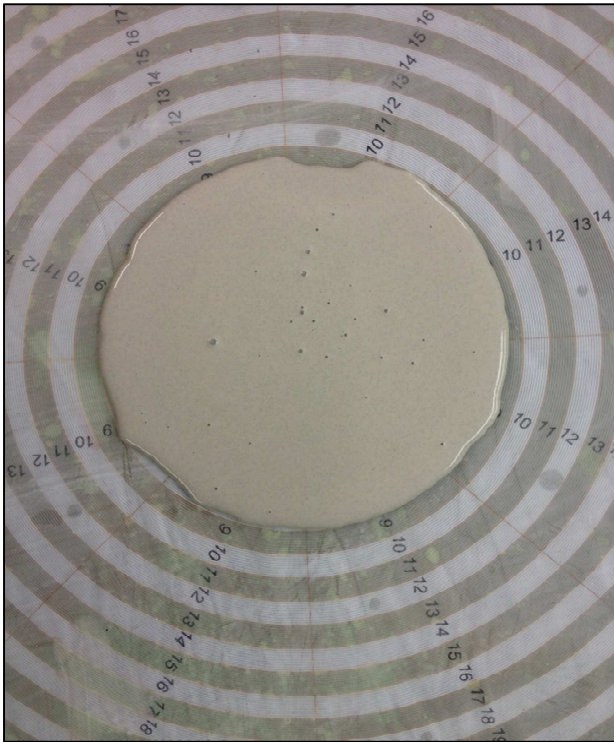
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,70 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es superior al del PLM (8,6 cm).

Imágenes del ensayo



MEZCLA 42

Fecha: 15 / 11 / 2013

Materiales utilizados en el ensayo

47,20 gramos de NHL

2,50 gramos de μ Si O₂

0,30 gramos de η Si O₂

Agua = 0,55*(47,20 + 2,50 + 0,30)=27,50 gramos

100 gramos de Micromar 250

2,50 gramos de Aditivo

Dosificación del ensayo

0,944 NHL + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ +
0,55 H₂ O + 2 Micromar + 0,05 Aditivo

Tabla de resultados (5 minutos)

8,90	8,30
9,00	8,20
8,40	8,60
7,70	8,10

Cálculo del valor medio

Radio Medio 8,4 cm

Tabla de resultados (30 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Tabla de resultados (60 minutos)

-	-
-	-
-	-
-	-

Cálculo del valor medio

Radio Medio -

Amasado

Tipificado

Observaciones sobre el ensayo

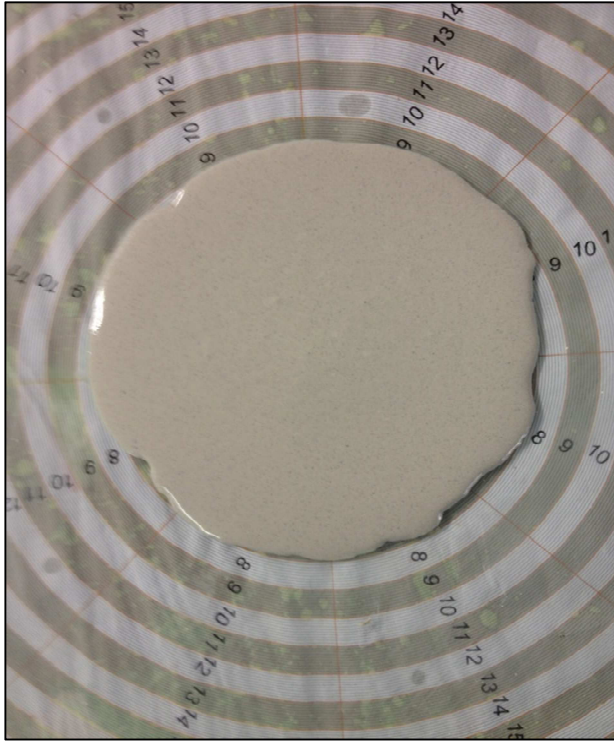
Realizamos la prueba de consistencia de la muestra para su posterior estudio y determinación del óptimo de agua necesario para una correcta mezcla.

No disponemos de las imágenes de la mezcla a los 30 y 60 minutos de la pastada.

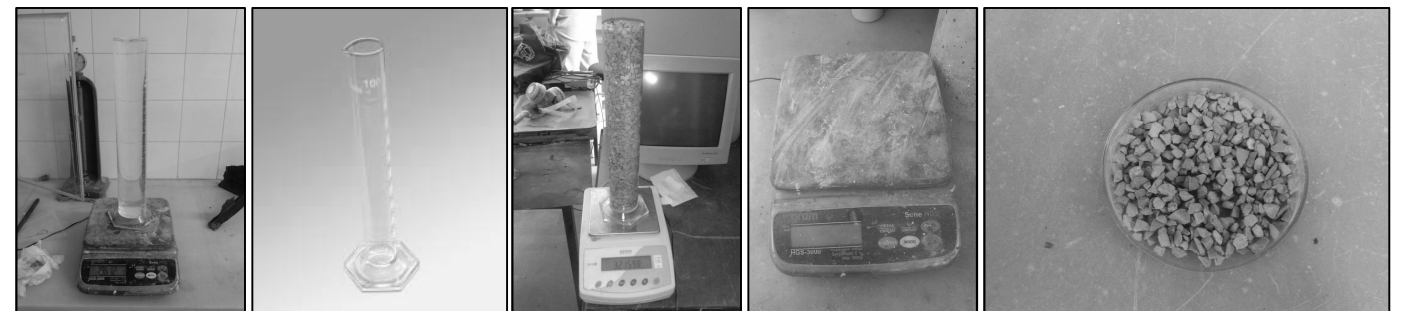
Observaciones sobre el ensayo

Podemos determinar que con el 0,60 de H₂O y añadiendo 0,05 de Aditivo, el radio es igual al del PLM (8,4 cm).

Imágenes del ensayo



2 ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACIDAD



PROCEDIMIENTO TEÓRICO

Ésta prueba tiene como finalidad la determinación de la compacidad de tres tipos de áridos (diámetros 2/6, 6/12 y mezcla de ambos áridos proporción 50% - 50%) para analizar los datos obtenidos y decidir qué tipo de árido emplear a la hora de realizar las inyecciones de la lechada en la pecera.

El procedimiento que se realiza para comprobar y definir la compacidad se realiza en el laboratorio, es un ensayo muy simple que comporta el peso del árido seco y mezclado con agua.

Composición de las mezclas a ensayar

- Compacidad del árido 2/6:*
- Árido de machaqueo cuyo diámetro es 2 / 6 mm.
- Compacidad del árido 6/12:*
- Árido de machaqueo cuyo diámetro es 6 / 12 mm.
- Compacidad áridos 50 %:*
- Mezcla de áridos de diámetro 2 / 12 mm.

Procedimiento de la prueba

- 1.- Poner el recipiente encima de la balanza y poner a 0 gr.
- 2.- Llenar el recipiente de agua y proceder a su pesado apuntando los datos obtenidos.
- 3.- A continuación, vaciar el recipiente de agua y rellenarlo con uno de los áridos. Colocar el recipiente lleno por el árido en la balanza y apuntar su peso.
- 4.- Con el recipiente lleno de árido, verte agua en ella hasta rellenar todos los huecos existentes entre los áridos. Colocar el recipiente en la balanza y apuntamos su peso.
- 5.- Con los datos obtenidos del pesaje, los colocamos en la formula y obtendremos los resultados de la compacidad de cada uno de los áridos objeto de estudio.

$$Compacidad = \frac{(Peso\ Seco + H2O + \acute{A}rido) - (Peso\ Seco + \acute{A}rido)}{(Peso\ Seco + H2O) - (Peso\ Seco)}$$

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



Peso Seco + H₂O



Peso Seco + Árido



Peso Seco + H₂O + Árido

ENSAYO DE COMPACIDAD

DATOS FIJOS DEL ENSAYO DE COMPACIDAD

Peso en Seco (peso del recipiente)	627,20 g
Peso en Seco (peso del recipiente)+ H ₂ O	1.977,50 g



Peso en Seco + H₂O



Peso en Seco + Árido



Peso en Seco + Árido + H₂O

DATOS DE LOS ÁRIDOS DEL ENSAYO DE COMPACIDAD

Compacidad del árido 2 / 6 mm

Peso en Seco + Árido	2.465,50 g
Peso en Seco + Árido + H ₂ O	3.149,60 g

Resultado compacidad 2 / 6 mm	0,4933718
-------------------------------	-----------

Compacidad del árido 6 / 12 mm

Peso en Seco + Árido	2.429,30 g
Peso en Seco + Árido + H ₂ O	3.107,66 g

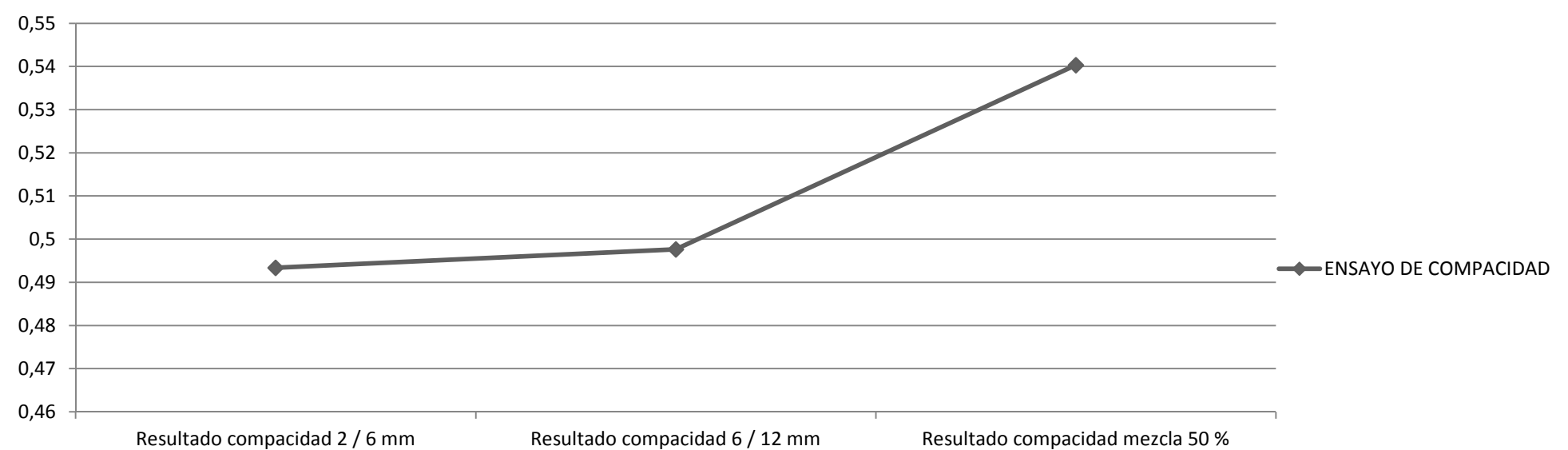
Resultado compacidad 6 / 12 mm	0,49762275
--------------------------------	------------

Compacidad de la mezcla de áridos 2 / 6 y 6 / 12 mm (50 %)

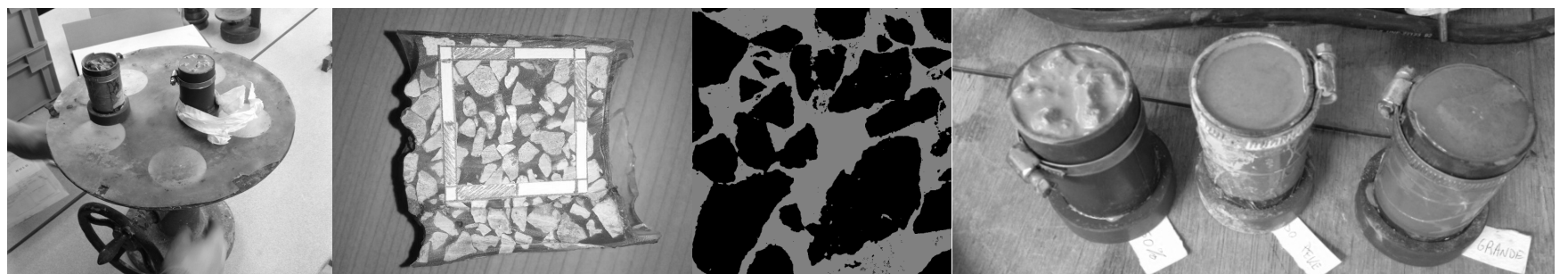
Peso en Seco + Árido	2.595,20 g
Peso en Seco + Árido + H ₂ O	3.215,95 g

Resultado compacidad mezcla 50 %	0,54028734
----------------------------------	------------

ENSAYO DE COMPACIDAD



3 ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DEL TRATAMIENTO DE IMÁGENES



PROCEDIMIENTO TEÓRICO

Se decide realizar un tratamiento de imágenes de 3 tamaños de áridos diferentes con el fin de conocer los huecos que se encuentran entre ellos, futuro espacio que tendrá que rellenar nuestro producto, conocer la cantidad de huecos de todos los diámetros que caben entre los áridos, así a través de una gráfica de dispersión podremos obtener datos del porcentaje de cada uno de los diámetros.

Composición de las mezclas a ensayar

Compacidad del árido 2/6:

Árido de machaqueo cuyo diámetro es 2 / 6 mm.

Compacidad del árido 6/12:

Árido de machaqueo cuyo diámetro es 6 / 12 mm.

Compacidad áridos 50 %:

Mezcla de áridos de diámetro 2 / 12 mm.

Procedimiento de la prueba

- 1.- Se realizan unas probetas cilíndricas con 3 áridos de relleno diferentes, el primero con árido de medidas aproximadas de 2-6 mm, el segundo lo realizaremos con el árido de medidas 6-12 mm, y el tercero lo haremos con mitad del árido de dimensiones menores (2-6mm) y la otra mitad con el árido de mayor dimensión (6-12 mm).
- 2.- Es súper importante el compactado una vez introduzcamos el árido en los cilindros, le aplicaremos 50 golpes laterales e iremos agregando árido hasta que quede al ras del cilindro, repetiremos el proceso hasta que el cilindro no admita más árido.
- 3.- Una vez tengamos el árido compactado en los respectivos cilindros, prepararemos la resina, que se compone de dos partes, la reseina, y el catalizador, que ayuda a realizar la reacción que hace endurecer a la misma.
- 4.- La resina será mezclada con un colorante de color rojo, para favorecer la distinción entre resina y árido en el tratamiento de imágenes.
- 5.- Volcamos la resina de color rojo y vamos dando golpes laterales para que se consiga llenar todos los huecos y espacios entre el árido
- 6.- Una vez la resina a llegado a ras y el recipiente no admite más lo dejamos 24 horas para que endurezca.
- 7.- El siguiente día realizaremos el corte con la sierra mecánica, cortaremos los cilindros longitudinalmente por las mitades, obteniendo 6 mitades, 2 con árido grande, 2 con pequeño y los otros dos con la mezcla de ambos áridos.
- 8.- Se realizará la toma de imágenes de dichas muestras con una escala de referencia para posterior estudio.
- 9.- Una vez obtenidas las fotos, debemos tratarlas con programas especializados para imágenes, y escalarla según la medida referencia al tomar la foto
- 10.- A continuación se pasan las diferentes imágenes al software, que a través de indicarle unos parámetros según la información que queremos obtener, nos proporciona los resultados finales que interpretaremos posteriormente.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



Imagen de la probeta



Preparación de la resina con el colorante rojo



Toma de imágenes con la escala de referencia

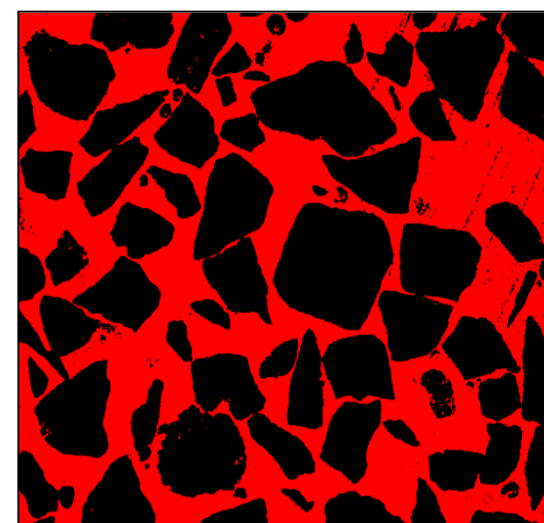
ENSAYO DEL TRATAMIENTO DE IMÁGENES 2 / 6 mm



Toma de imágenes con la escala de referencia



Imagen base del ensayo de 2/6 mm



Primer resultado obtenido del software de la probeta

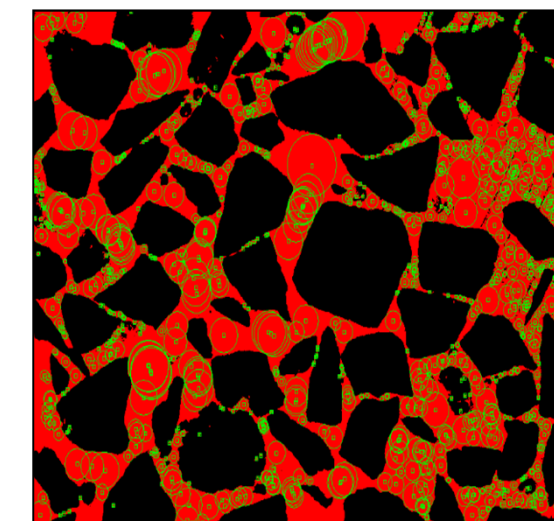
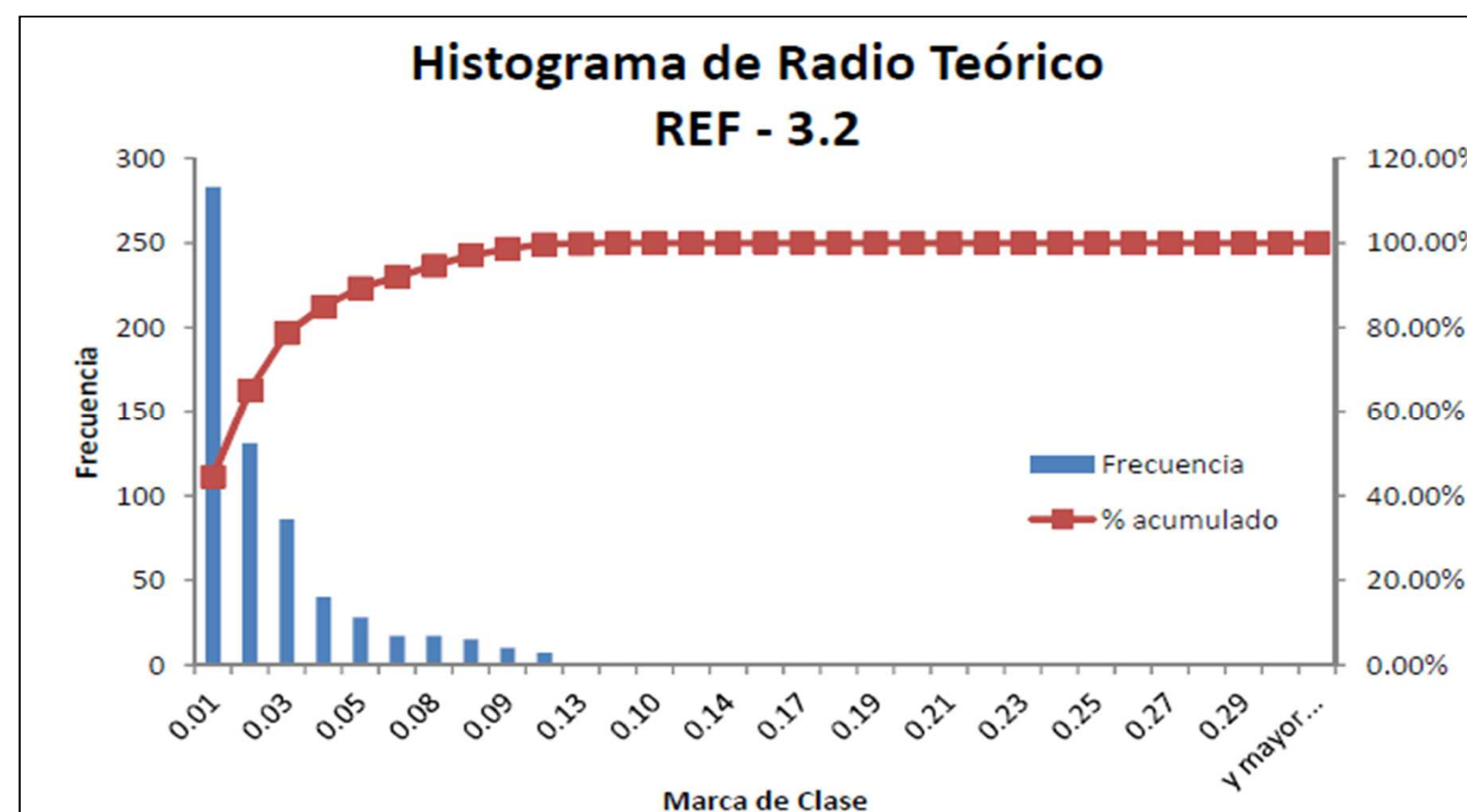


Imagen con los círculos de diferentes diámetros entre los huecos del material

Tabla obtenida de la grafica de histogramas de la muestra de 2/6 mm

Media	0,02498428
Error típico	0,00094112
Mediana	0,02
Moda	0,01
Desviación estándar	0,02373409
Varianza de la muestra	0,00056331
Curtosis	2,84928681
Coefficiente de asimetría	1,70810042
Rango	0,14
Mínimo	0
Máximo	0,14
Suma	15,89
Cuenta	636,00
Nivel de confianza (95,0 %)	0,00184808

Gráfica de los datos de la muestra que contiene los dos tipos de áridos



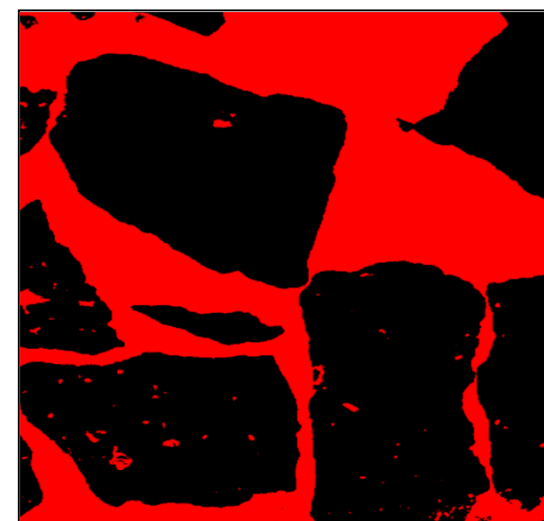
ENSAYO DEL TRATAMIENTO DE IMÁGENES 6 / 12 mm



Toma de imágenes con la escala de referencia



Imagen base del ensayo de 6/12 mm



Primer resultado obtenido del software de la probeta

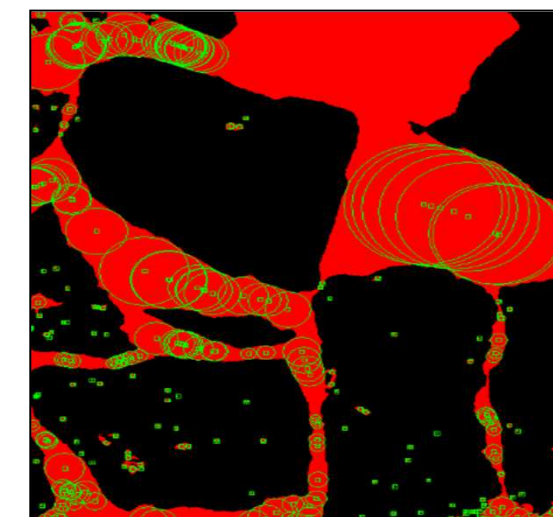
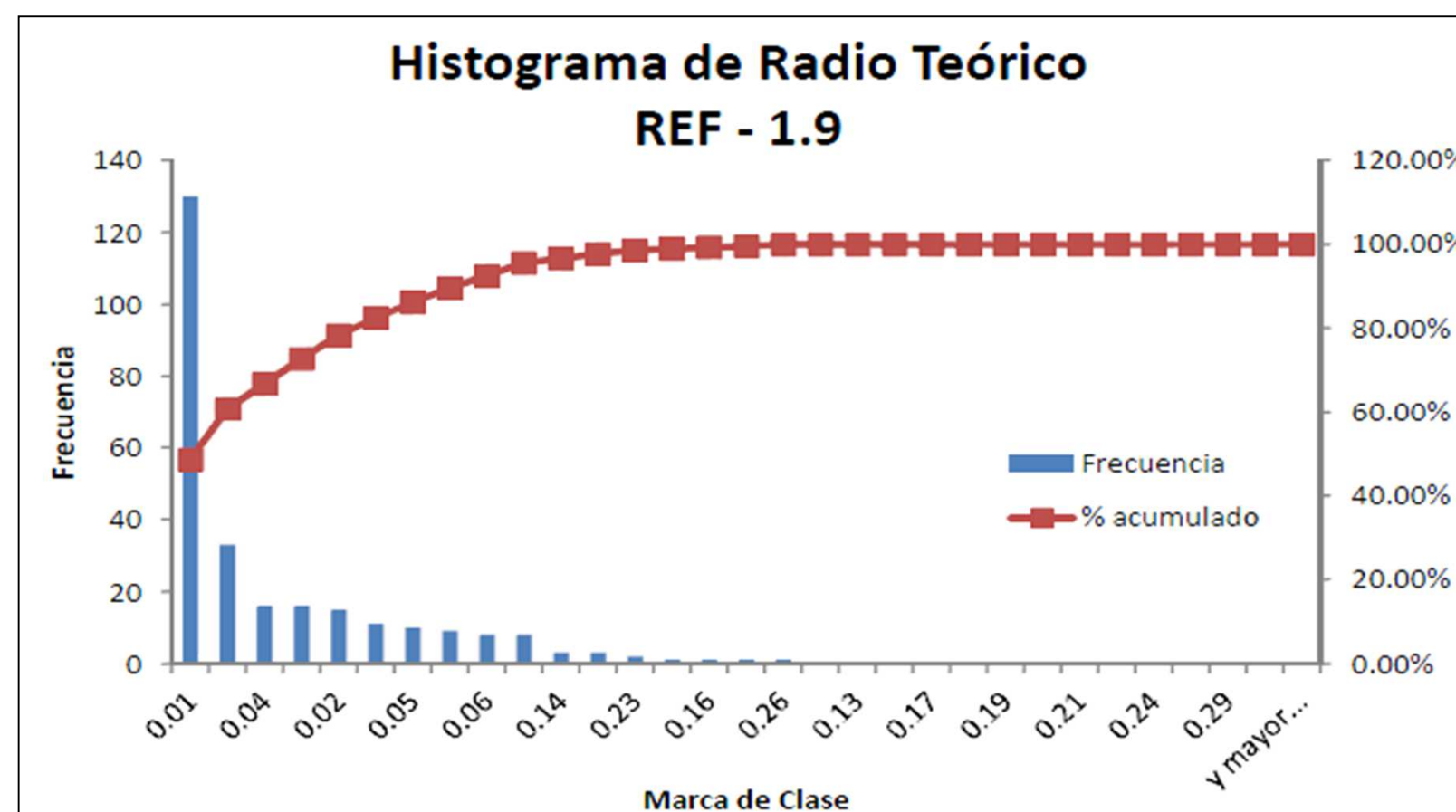


Imagen con los círculos de diferentes diámetros entre los huecos del material

Tabla obtenida de la grafica de histogramas de la muestra de 6/12 mm

Media	0,03656716
Error típico	0,00299309
Mediana	0,02
Moda	0
Desviación estándar	0,04899904
Varianza de la muestra	0,00240091
Curtosis	8,43997258
Coefficiente de asimetría	2,56923767
Rango	0,27
Mínimo	0
Máximo	0,27
Suma	9,80
Cuenta	268
Nivel de confianza (95,0 %)	0,00589307

Gráfica de los datos de la muestra que contiene los dos tipos de áridos



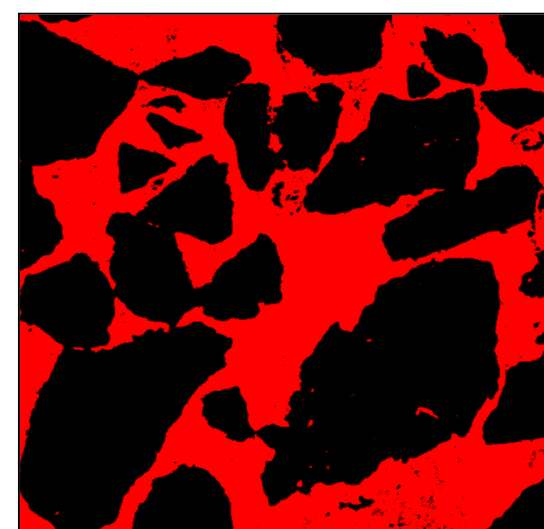
ENSAYO DEL TRATAMIENTO DE IMÁGENES MEZCLA DE ÁRIDOS



Toma de imágenes con la escala de referencia



Imagen base del ensayo de la mezcla 50 %



Primer resultado obtenido del software de la probeta

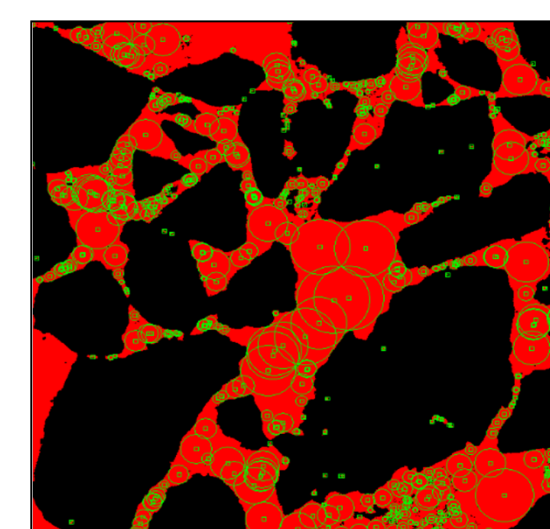
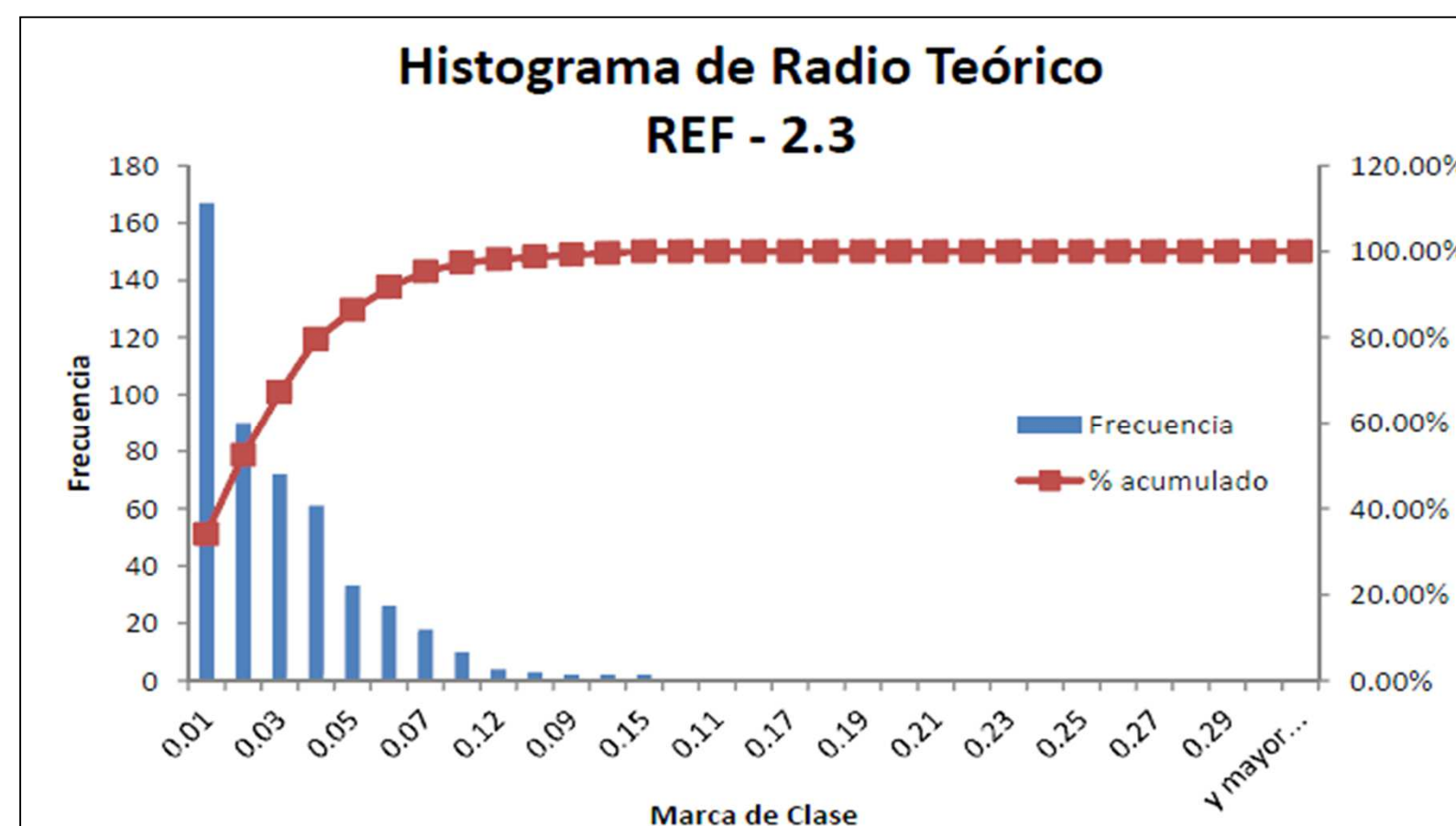


Imagen con los círculos de diferentes diámetros entre los huecos del material

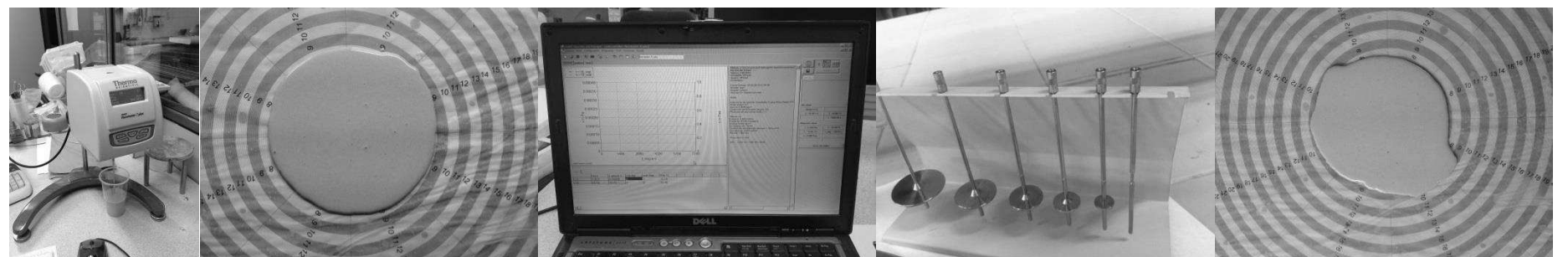
Tabla obtenida de la grafica de histogramas de la muestra de 50%

Media	0,02959184
Error típico	0,00111356
Mediana	0,02
Moda	0,01
Desviación estándar	0,02464963
Varianza de la muestra	0,0006076
Curtosis	3,75593809
Coefficiente de asimetría	1,61336869
Rango	0,15
Mínimo	0
Máximo	0,15
Suma	14,50
Cuenta	490
Nivel de confianza (95,0 %)	0,00218795

Gráfica de los datos de la muestra que contiene los dos tipos de áridos



4 ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE VISCOSIDAD



PROCESO DE PASTADO Y ESTUDIO DE LA VISCOSIDAD

Productos empleados

CONGLOMERANTES

Cal aérea	CL - 90 S	Pachs
Cal hidráulica	NHL - 3,5	Naturcal
Microsílice	Microsílice 971 U	Elkem
Nanosílice	Nanosílice 999	Elkem

ADITIVOS

Fluidificante	Rheomix GT 250 MA	Basf
---------------	-------------------	------

ÁRIDO

Árido	Micromar 250	Aymar
-------	--------------	-------

Procedimiento de pastado

- 1.- Colocación de los productos en polvo dentro de un recipiente (previo pesado) para su posterior mezcla.
- 2.- Amasado de la mezcla en polvo mediante una varilla de vidrio.
- 3.- Añadir un porcentaje de agua previamente determinado en los ensayos de consistencia.
- 4.- Colocar el recipiente dentro de la amasadora eléctrica.
- 5.- Pastar la mezcla durante 240 segundos (4 minutos) a velocidad lenta.
- 6.- Parada de la amasadora eléctrica y extracción del recipiente con la mezcla realizada.
- 7.- Mezclado a mano de la mezcla mediante una varilla de vidrio para contrastar que no existen cúmulos de material sin hidratarse.
- 8.- Preparación de todo el material necesario para el ensayo de viscosidad (software, mezcla, spindler, etc.).

Composición de las mezclas a estudiar

1:3 _ CL (Mezcla 1):

3 Micromar + 0,70 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

1:3 _ CL 0,5 (Mezcla 2):

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

1:2 _ NHL (Mezcla 3):

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

1:2 _ NHL 0,5 (Mezcla 4):

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

Toma de temperatura previo comienzo prueba

Antes de comenzar el ensayo de viscosidad se tomará la temperatura de la sala. De esta forma analizaremos el comportamiento de las mezclas en 3 diferentes temperaturas ambientes.

PROCESO DE PASTADO Y ESTUDIO DE LA VISCOSIDAD

Imágenes del proceso



Báscula empleada



Amasadora eléctrica



Mezcla en polvo



Mezcla amasada



Prueba de viscosidad

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:3_CL

PRODUCTOS EMPLEADOS

3 Micromar + 0,7 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:3	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea CL - 90 S	70 % Árido = $0,70 * (100/3) = 23,33$ gramos de Cal Aérea CL - 90 S
Microsílice (μ Si O ₂)	27 % Árido = $0,27 * (100/3) = 8,99$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	3 % Árido = $0,03 * (100/3) = 0,99$ gramos de Nanosílice 999
Agua 82 %	82 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,82 * (23,33 + 8,99 + 0,99) = 27,33$ gramos de H ₂ O
Aditivo 9 %	9 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,09 * (23,33 + 8,99 + 0,99) = 2,99$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	18,3 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

Martes, 22 de Octubre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Lunes, 17 de Marzo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,1	8,6
7,9	9,1
8,2	8,4
8,4	8,5

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:3_CL

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

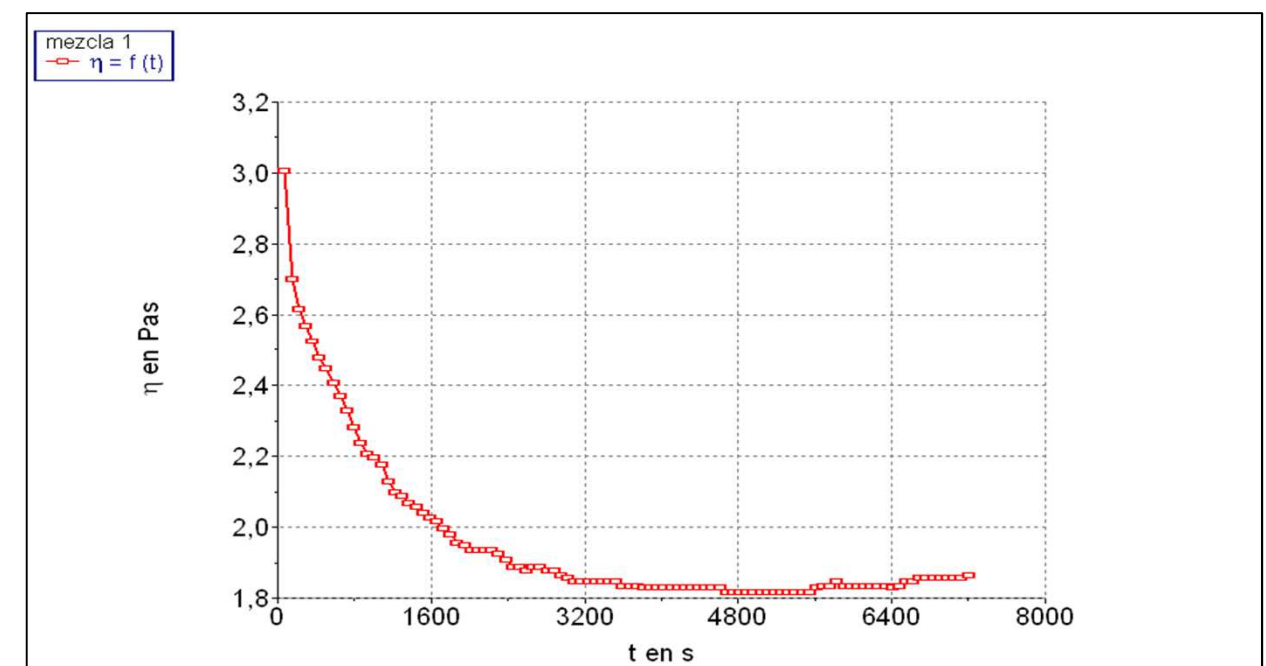
Conjunto cilíndrico coaxial Nº 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:3 _CL



1:3 _CL

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

PRODUCTOS EMPLEADOS

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:3	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea CL - 90 S	85 % Árido = $0,85 * (100/3) = 28,33$ gramos de Cal Aérea CL - 90 S
Microsílice (μ Si O ₂)	13,5 % Árido = $0,135 * (100/3) = 4,49$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	1,5 % Árido = $0,015 * (100/3) = 0,49$ gramos de Nanosílice 999
Agua 75 %	75 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,75 * (28,33 + 4,49 + 0,49) = 24,99$ gramos de H ₂ O
Aditivo 9 %	9 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,09 * (28,33 + 4,49 + 0,49) = 2,99$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	18,3 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

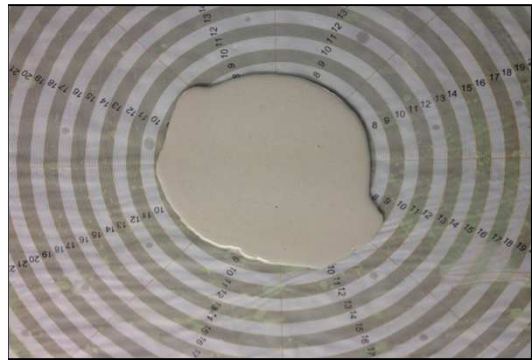
Martes, 12 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Martes, 18 de Marzo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

7,9	9,1
7,2	9,2
9,1	8
8,5	7,7

Valor medio del radio

R medio	8,3 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL 0,5

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

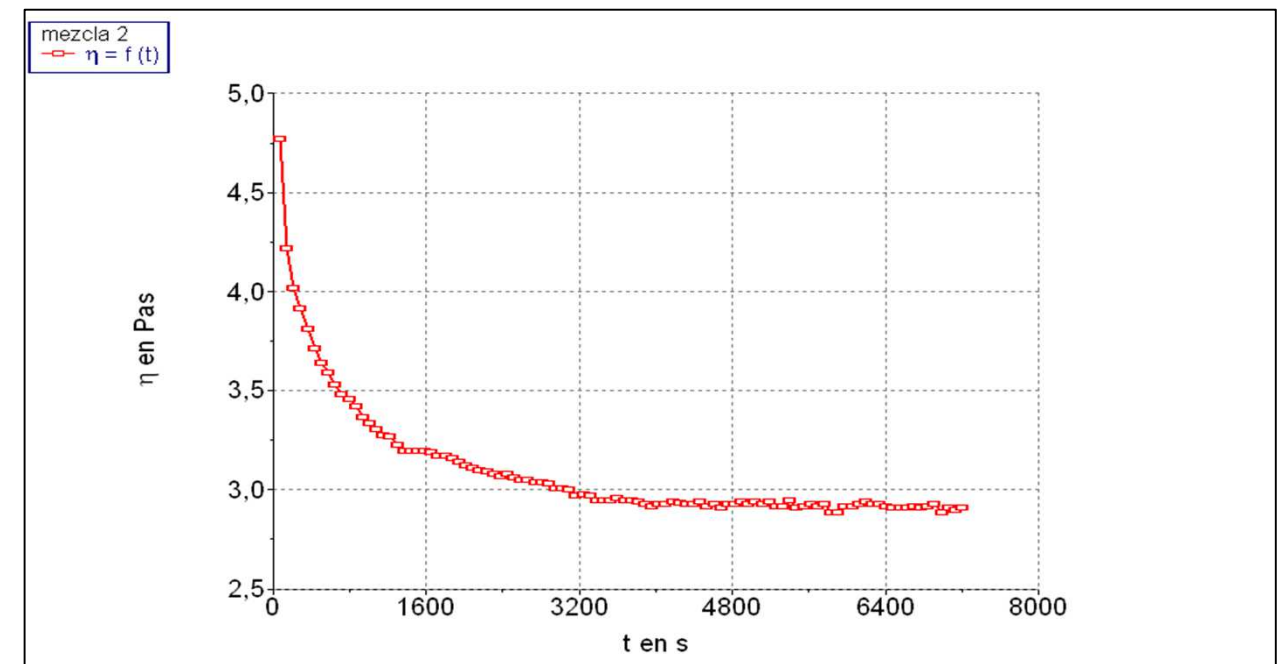
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL 0,5



1:3 _ CL 0,5

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:2 _ NHL

PRODUCTOS EMPLEADOS

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:2	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea NHL 3,5 Z	82,4 % Árido = $0,824 * (100/2) = 41,20$ gramos de Cal Hidráulica NHL 3,5 Z
Microsílice (μ Si O ₂)	15,9 % Árido = $0,159 * (100/2) = 7,95$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	1,7 % Árido = $0,017 * (100/2) = 0,85$ gramos de Nanosílice 999
Agua 60 %	60 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,60 * (41,20 + 7,95 + 0,85) = 30$ gramos de H ₂ O
Aditivo 5 %	5 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,05 * (41,20 + 7,95 + 0,85) = 2,50$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	18,3 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

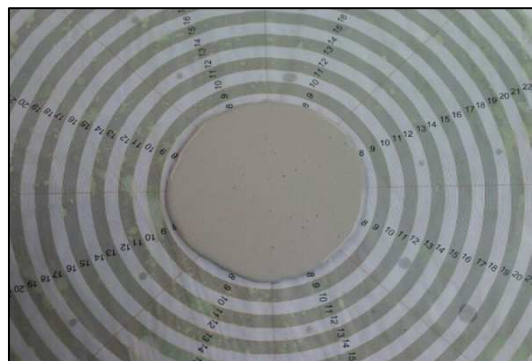
Viernes, 15 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Miércoles, 19 de Marzo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,5	8,4
7,9	8,9
8,1	8,5
8,3	8,3

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia aparente de la mezcla

Consistencia aparente CORRECTA

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

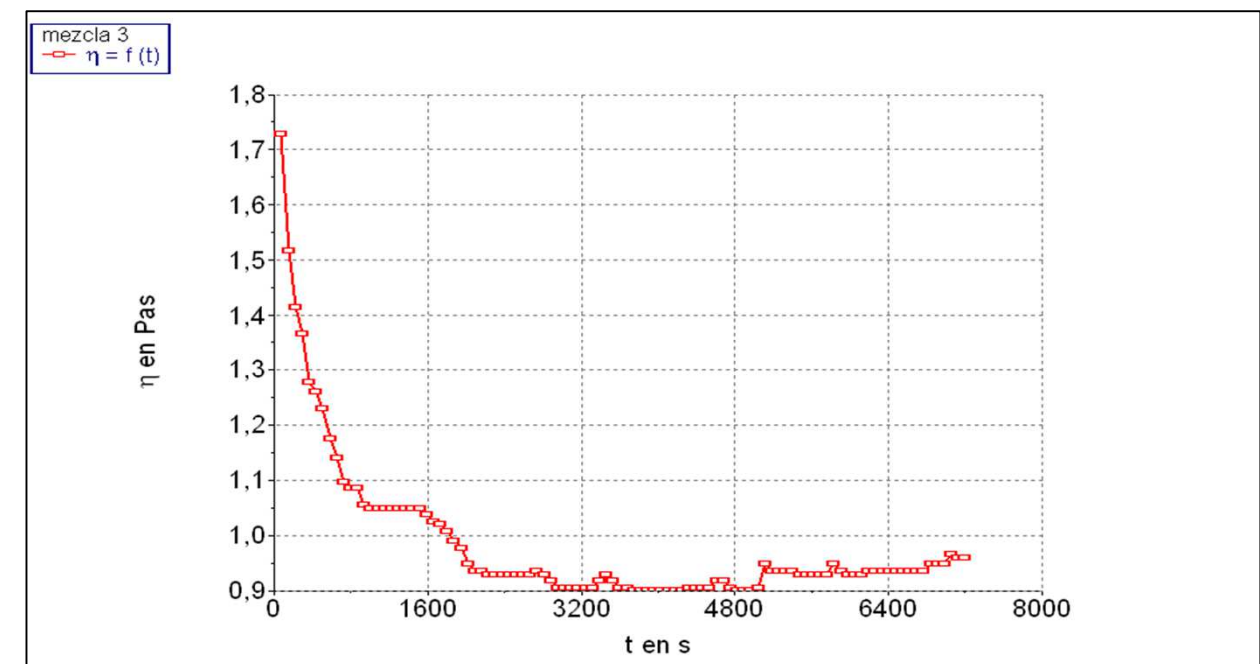
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL



1:2 _ NHL

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

PRODUCTOS EMPLEADOS

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:2	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea NHL 3,5 Z	94,4 % Árido = $0,944 * (100/2) = 47,20$ gramos de Cal Hidráulica NHL 3,5 Z
Microsílice (μ Si O ₂)	5 % Árido = $0,05 * (100/2) = 2,50$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	0,6 % Árido = $0,006 * (100/2) = 0,30$ gramos de Nanosílice 999
Agua 55 %	55 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,55 * (47,20 + 2,5 + 0,30) = 27,50$ gramos de H ₂ O
Aditivo 5 %	5 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,05 * (47,20 + 2,5 + 0,30) = 2,50$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	18,3 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

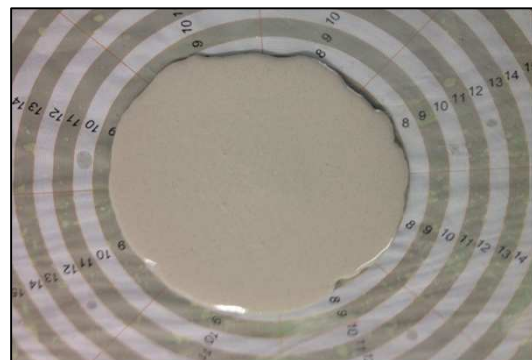
Lunes, 18 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Jueves, 20 de Marzo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,2	8,1
7,6	8,4
8	9,2
7,9	9,4

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia aparente de la mezcla

Consistencia aparente CORRECTA

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL 0,5

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

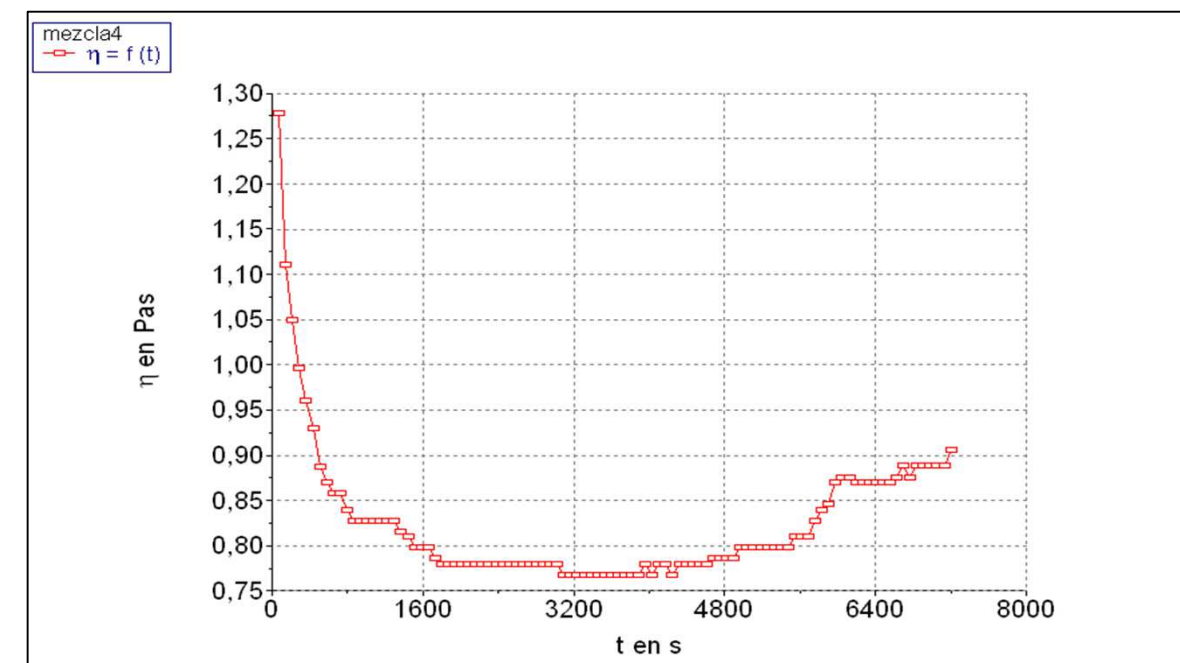
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL 0,5



1:2 _ NHL 0,5

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:3 _CL

PRODUCTOS EMPLEADOS

3 Micromar + 0,7 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:3	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea CL - 90 S	70 % Árido = $0,70 * (100/3) = 23,33$ gramos de Cal Aérea CL - 90 S
Microsílice (μ Si O ₂)	27 % Árido = $0,27 * (100/3) = 8,99$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	3 % Árido = $0,03 * (100/3) = 0,99$ gramos de Nanosílice 999
Agua 82 %	82 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,82 * (23,33 + 8,99 + 0,99) = 27,33$ gramos de H ₂ O
Aditivo 9 %	9 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,09 * (23,33 + 8,99 + 0,99) = 2,99$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,4 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

Martes, 22 de Octubre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Martes, 29 de Abril de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,1	8,6
7,9	9,1
8,2	8,4
8,4	8,5

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:3 _CL

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

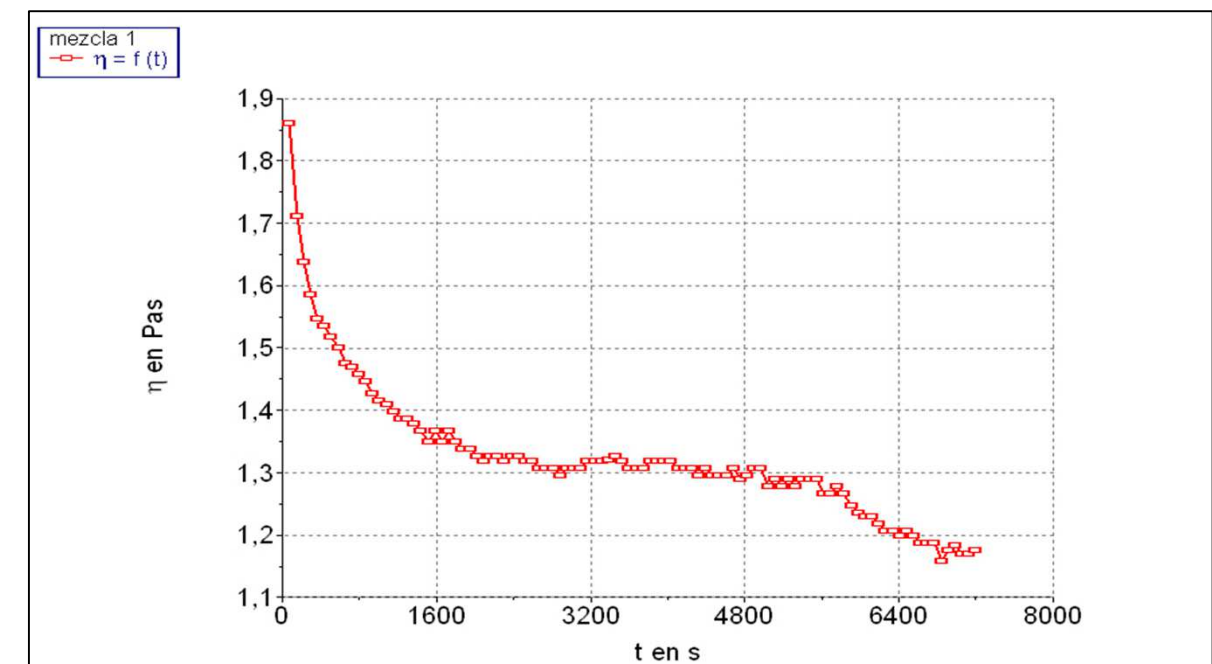
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:3 _CL



1:3 _CL

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

PRODUCTOS EMPLEADOS

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:3	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea CL - 90 S	85 % Árido = $0,85 * (100/3) = 28,33$ gramos de Cal Aérea CL - 90 S
Microsílice (μ Si O ₂)	13,5 % Árido = $0,135 * (100/3) = 4,49$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	1,5 % Árido = $0,015 * (100/3) = 0,49$ gramos de Nanosílice 999
Agua 75 %	75 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,75 * (28,33 + 4,49 + 0,49) = 24,99$ gramos de H ₂ O
Aditivo 9 %	9 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,09 * (28,33 + 4,49 + 0,49) = 2,99$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,4 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

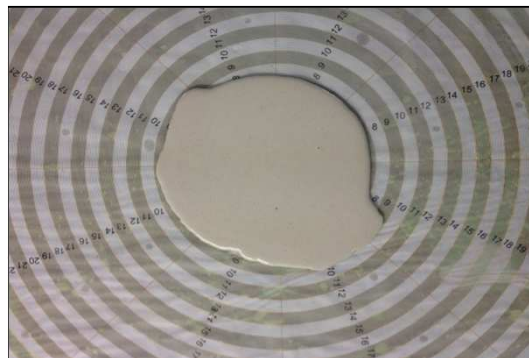
Martes, 12 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Lunes, 05 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

7,9	9,1
7,2	9,2
9,1	8
8,5	7,7

Valor medio del radio

R medio	8,3 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL 0,5

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

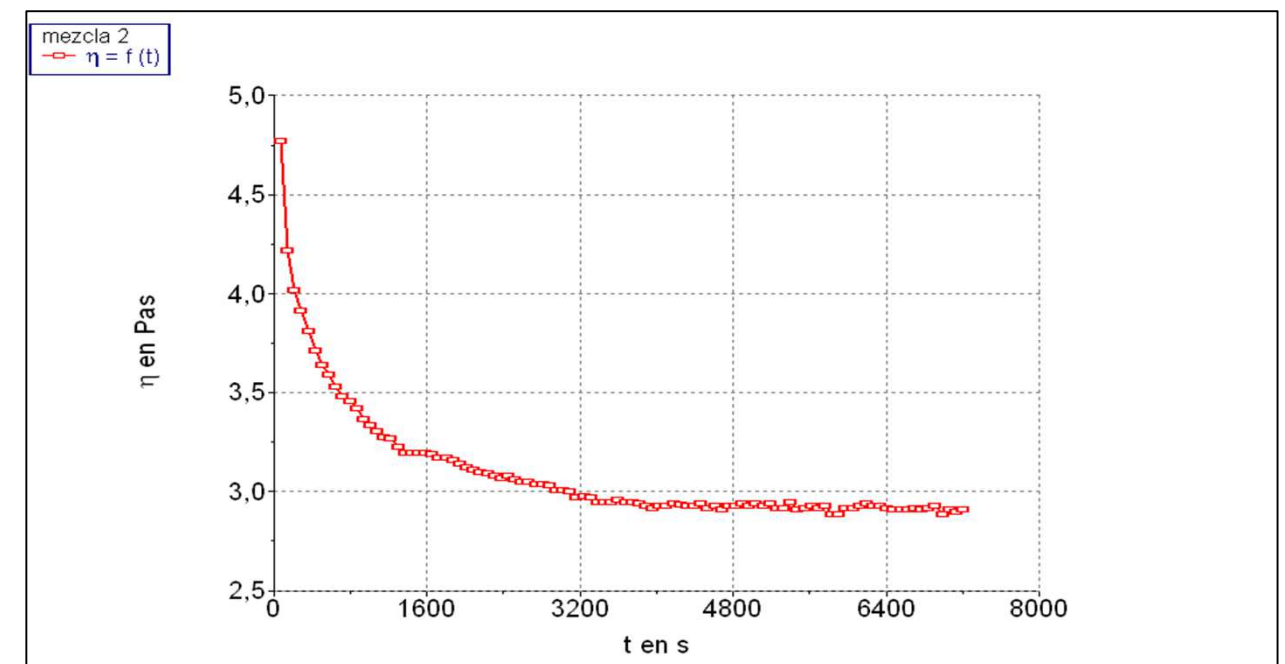
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL 0,5



1:3 _ CL 0,5

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:2 _ NHL

PRODUCTOS EMPLEADOS

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:2	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea NHL 3,5 Z	82,4 % Árido = $0,824 * (100/2) = 41,20$ gramos de Cal Hidráulica NHL 3,5 Z
Microsílice (μ Si O ₂)	15,9 % Árido = $0,159 * (100/2) = 7,95$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	1,7 % Árido = $0,017 * (100/2) = 0,85$ gramos de Nanosílice 999
Agua 60 %	60 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,60 * (41,20 + 7,95 + 0,85) = 30$ gramos de H ₂ O
Aditivo 5 %	5 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,05 * (41,20 + 7,95 + 0,85) = 2,50$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,4 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

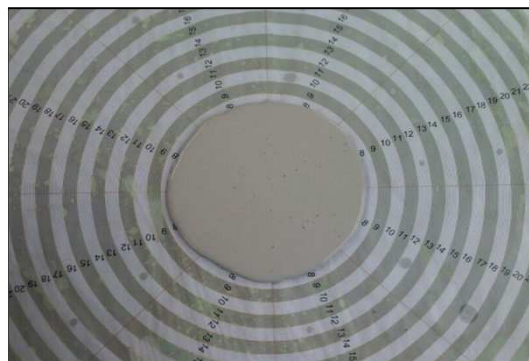
Viernes, 15 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Martes, 06 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,5	8,4
7,9	8,9
8,1	8,5
8,3	8,3

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

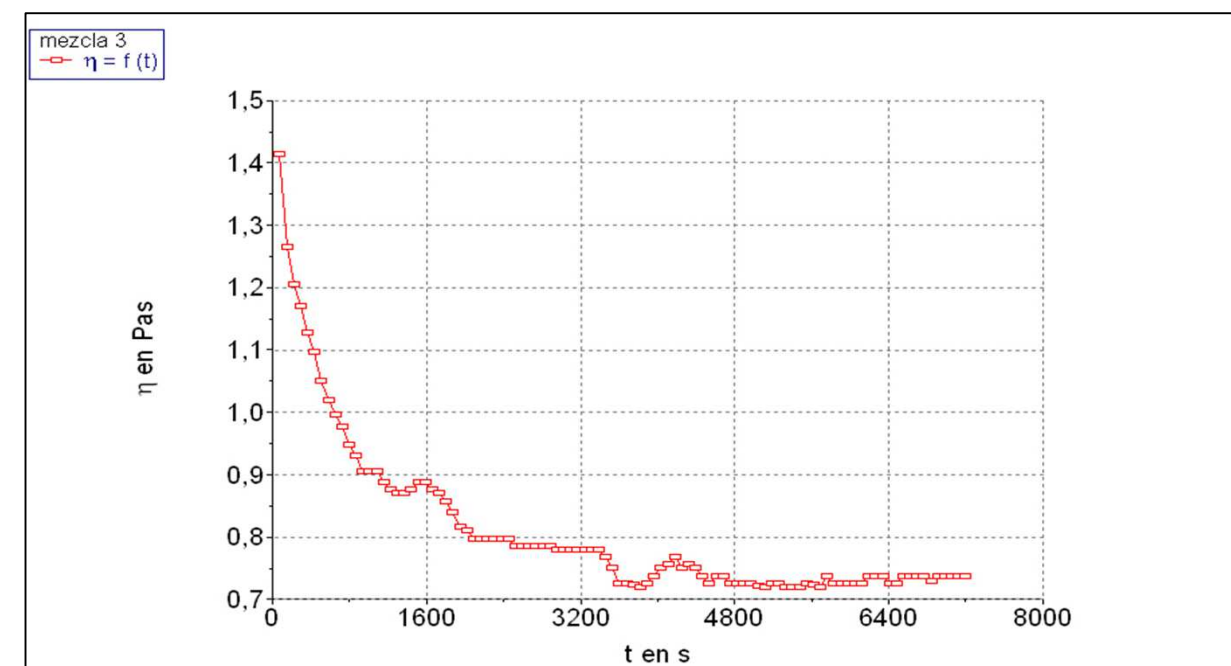
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL



1:2 _ NHL

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

PRODUCTOS EMPLEADOS

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:2	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea NHL 3,5 Z	94,4 % Árido = $0,944 * (100/2) = 47,20$ gramos de Cal Hidráulica NHL 3,5 Z
Microsílice (μ Si O ₂)	5 % Árido = $0,05 * (100/2) = 2,50$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	0,6 % Árido = $0,006 * (100/2) = 0,30$ gramos de Nanosílice 999
Agua 55 %	55 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,55 * (47,20 + 2,5 + 0,30) = 27,50$ gramos de H ₂ O
Aditivo 5 %	5 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,05 * (47,20 + 2,5 + 0,30) = 2,50$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,4 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

Lunes, 18 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Jueves, 8 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,2	8,1
7,6	8,4
8	9,2
7,9	9,4

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL 0,5

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

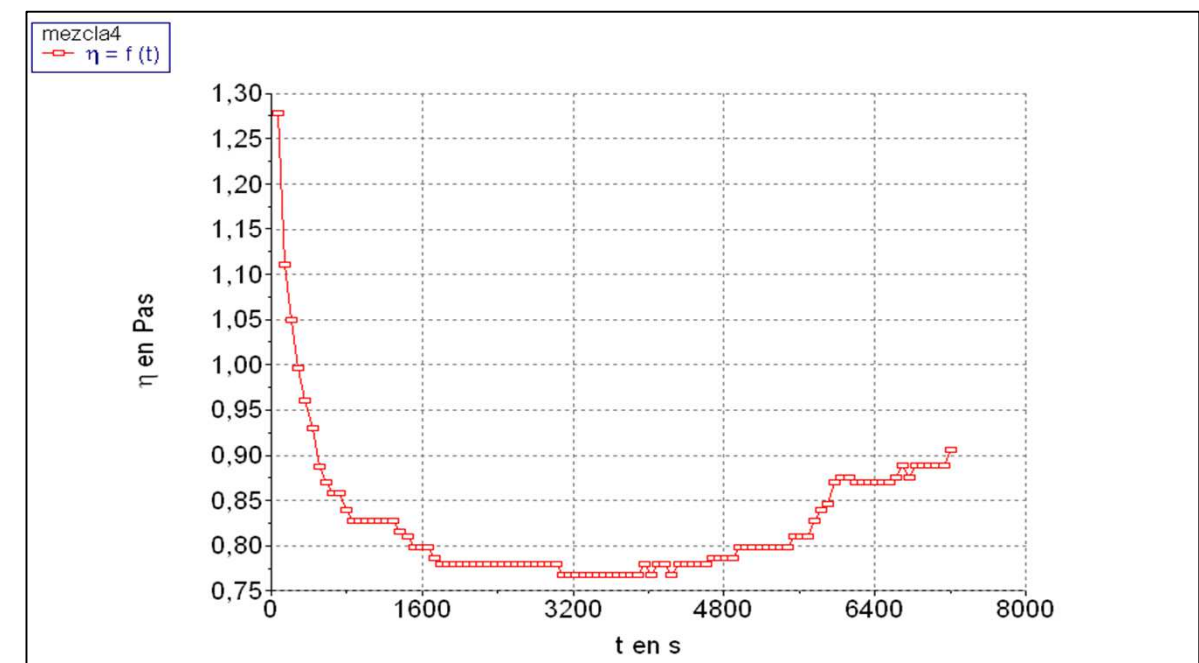
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL 0,5



1:2 _ NHL 0,5

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:3 _ CL

PRODUCTOS EMPLEADOS

3 Micromar + 0,7 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:3	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea CL - 90 S	70 % Árido = $0,70 * (100/3) = 23,33$ gramos de Cal Aérea CL - 90 S
Microsílice (μ Si O ₂)	27 % Árido = $0,27 * (100/3) = 8,99$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	3 % Árido = $0,03 * (100/3) = 0,99$ gramos de Nanosílice 999
Agua 82 %	82 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,82 * (23,33 + 8,99 + 0,99) = 27,33$ gramos de H ₂ O
Aditivo 9 %	9 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,09 * (23,33 + 8,99 + 0,99) = 2,99$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,8 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

Martes, 22 de Octubre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Lunes, 12 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,1	8,6
7,9	9,1
8,2	8,4
8,4	8,5

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

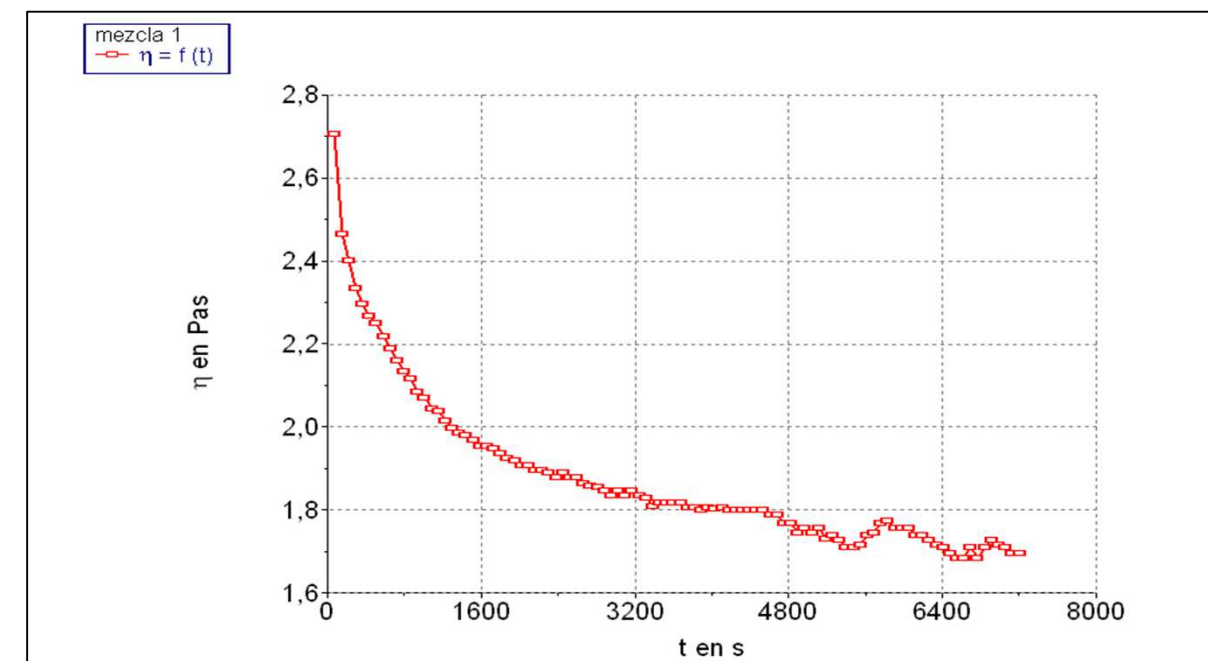
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL



1:3 _ CL

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

PRODUCTOS EMPLEADOS

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:3	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea CL - 90 S	85 % Árido = $0,85 * (100/3) = 28,33$ gramos de Cal Aérea CL - 90 S
Microsílice (μ Si O ₂)	13,5 % Árido = $0,135 * (100/3) = 4,49$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	1,5 % Árido = $0,015 * (100/3) = 0,49$ gramos de Nanosílice 999
Agua 75 %	75 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,75 * (28,33 + 4,49 + 0,49) = 24,99$ gramos de H ₂ O
Aditivo 9 %	9 % (CL - 90 S + micro + nano) = $0,09 * (28,33 + 4,49 + 0,49) = 2,99$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,8 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

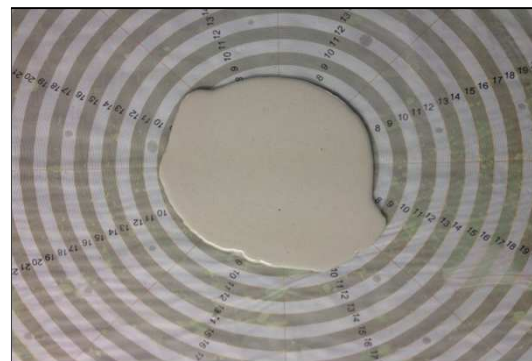
Martes, 12 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Miércoles, 14 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

7,9	9,1
7,2	9,2
9,1	8
8,5	7,7

Valor medio del radio

R medio	8,3 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

Observaciones de la retracción de la mezcla

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL 0,5

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

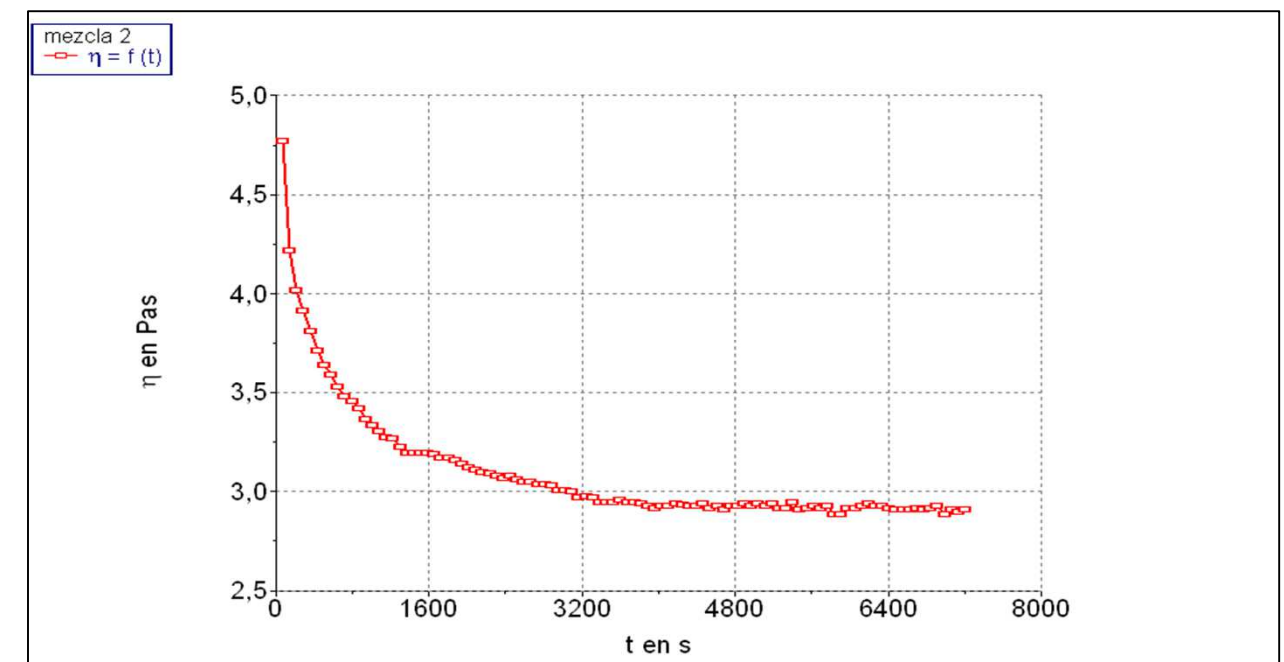
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:3 _ CL 0,5



1:3 _ CL 0,5

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:2 _ NHL

PRODUCTOS EMPLEADOS

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:2	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea NHL 3,5 Z	82,4 % Árido = $0,824 * (100/2) = 41,20$ gramos de Cal Hidráulica NHL 3,5 Z
Microsílice (μ Si O ₂)	15,9 % Árido = $0,159 * (100/2) = 7,95$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	1,7 % Árido = $0,017 * (100/2) = 0,85$ gramos de Nanosílice 999
Agua 60 %	60 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,60 * (41,20 + 7,95 + 0,85) = 30$ gramos de H ₂ O
Aditivo 5 %	5 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,05 * (41,20 + 7,95 + 0,85) = 2,50$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,8 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

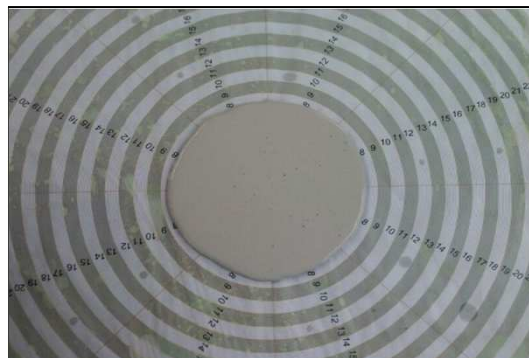
Viernes, 15 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Jueves, 15 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,5	8,4
7,9	8,9
8,1	8,5
8,3	8,3

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia de la mezcla respecto al PLM

Consistencia similar al PLM ACEPTABLE

Observaciones sobre la mezcla

El ensayo ha dado una consistencia igual al PLM. Por lo tanto la consistencia de la pastada es ACEPTABLE según el código de verificación del PLM.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

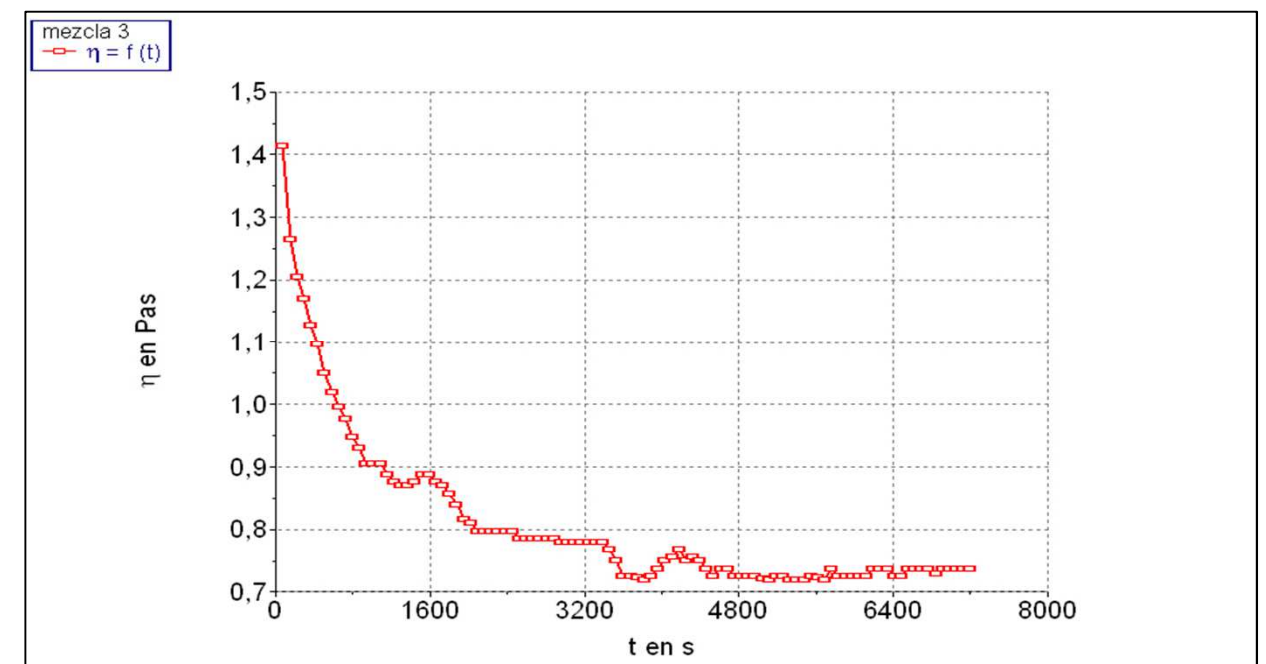
Conjunto cilíndrico coaxial N° 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL



1:2 _ NHL

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

PRODUCTOS EMPLEADOS

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

CANTIDADES DE MATERIAL EMPLEADOS PARA LA MEZCLA

Árido 1:2	100 gramos de Micromar 250
Cal Aérea NHL 3,5 Z	94,4 % Árido = $0,944 * (100/2) = 47,20$ gramos de Cal Hidráulica NHL 3,5 Z
Microsílice (μ Si O ₂)	5 % Árido = $0,05 * (100/2) = 2,50$ gramos de Microsílice 920
Nanosílice (η Si O ₂)	0,6 % Árido = $0,006 * (100/2) = 0,30$ gramos de Nanosílice 999
Agua 55 %	55 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,55 * (47,20 + 2,5 + 0,30) = 27,50$ gramos de H ₂ O
Aditivo 5 %	5 % (NHL 3,5 Z + micro + nano) = $0,05 * (47,20 + 2,5 + 0,30) = 2,50$ gramos de Rheomix GT 205

PASTADO / TEMPERATURA / VIBRADO

TIEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (rpm)
7.200	22,8 °C	100

PARÁMETROS DEL ENSAYO

FECHA DE LA PASTADA ÓPTIMA

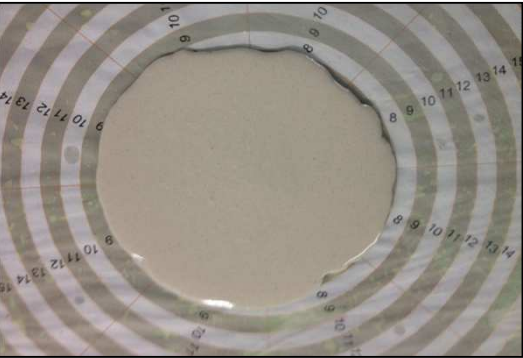
Lunes, 18 de Noviembre de 2013

FECHA DEL ENSAYO Y PASTADA

Viernes, 16 de Mayo de 2014

ENSAYO DE CONSISTENCIA

Imagen del ensayo



Resultados del ensayo de consistencia

8,2	8,1
7,6	8,4
8	9,2
7,9	9,4

Valor medio del radio

R medio	8,4 cm
---------	--------

Valoración de la consistencia aparente de la mezcla

Consistencia aparente CORRECTA

Observaciones de la retracción de la mezcla

La pasta no muestra ninguna retracción aparente. No se aprecian fisuras en la parte central, aunque en el perímetro de la placa petri apreciamos pequeñas fisuras.

ENSAYO DE VISCOSIDAD

Imagen del ensayo de viscosidad



Valoración de la viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL 0,5

Se observa que la viscosidad de la mezcla es CORRECTA

Software empleado para el ensayo

HAAKE Rheowin

Aparato empleado para el ensayo

HAAKE Viscotester 7 Plus

Spindle empleado para el ensayo

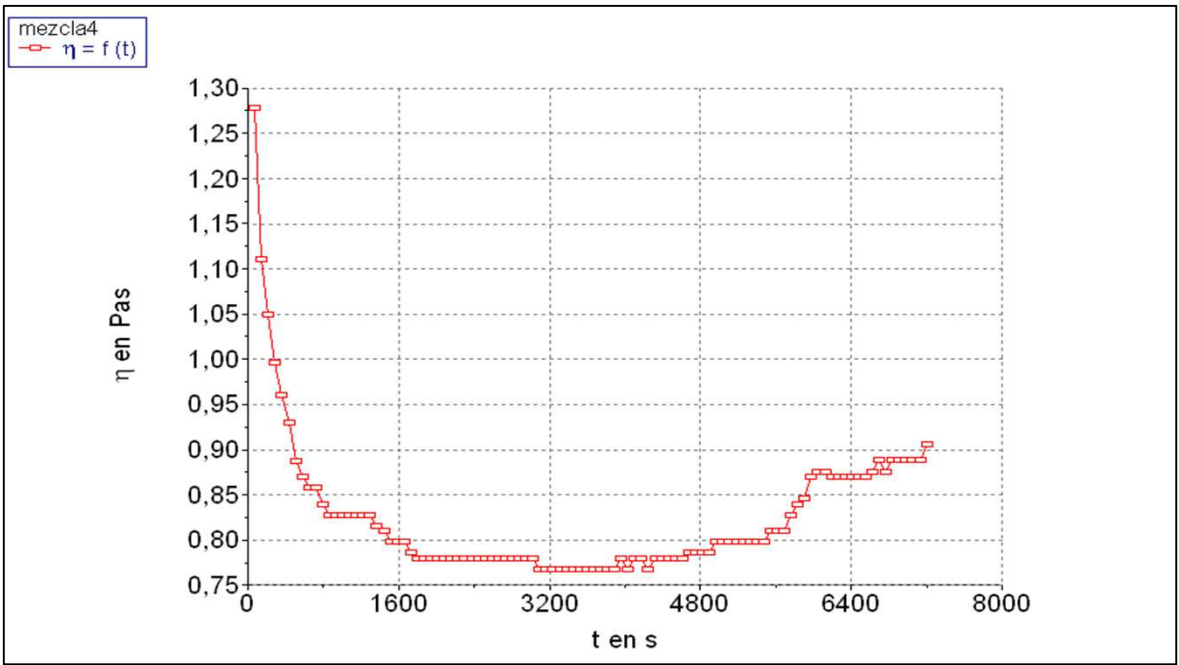
Conjunto cilíndrico coaxial Nº 4

Lugar donde se realiza el ensayo

Laboratorio de materiales de la EPSEB

Gráfica obtenida del ensayo de viscosidad

Viscosidad de la mezcla 1:2 _ NHL 0,5

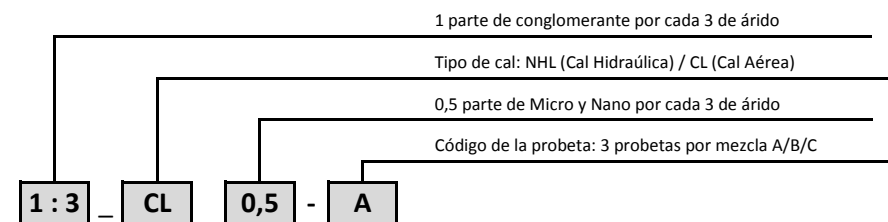


1:2 _ NHL 0,5

ENSAYO DE VISCOSIDAD DE LA CAL AÉREA CON ÁRIDO

GRÁFICA DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y SUS RESULTADOS

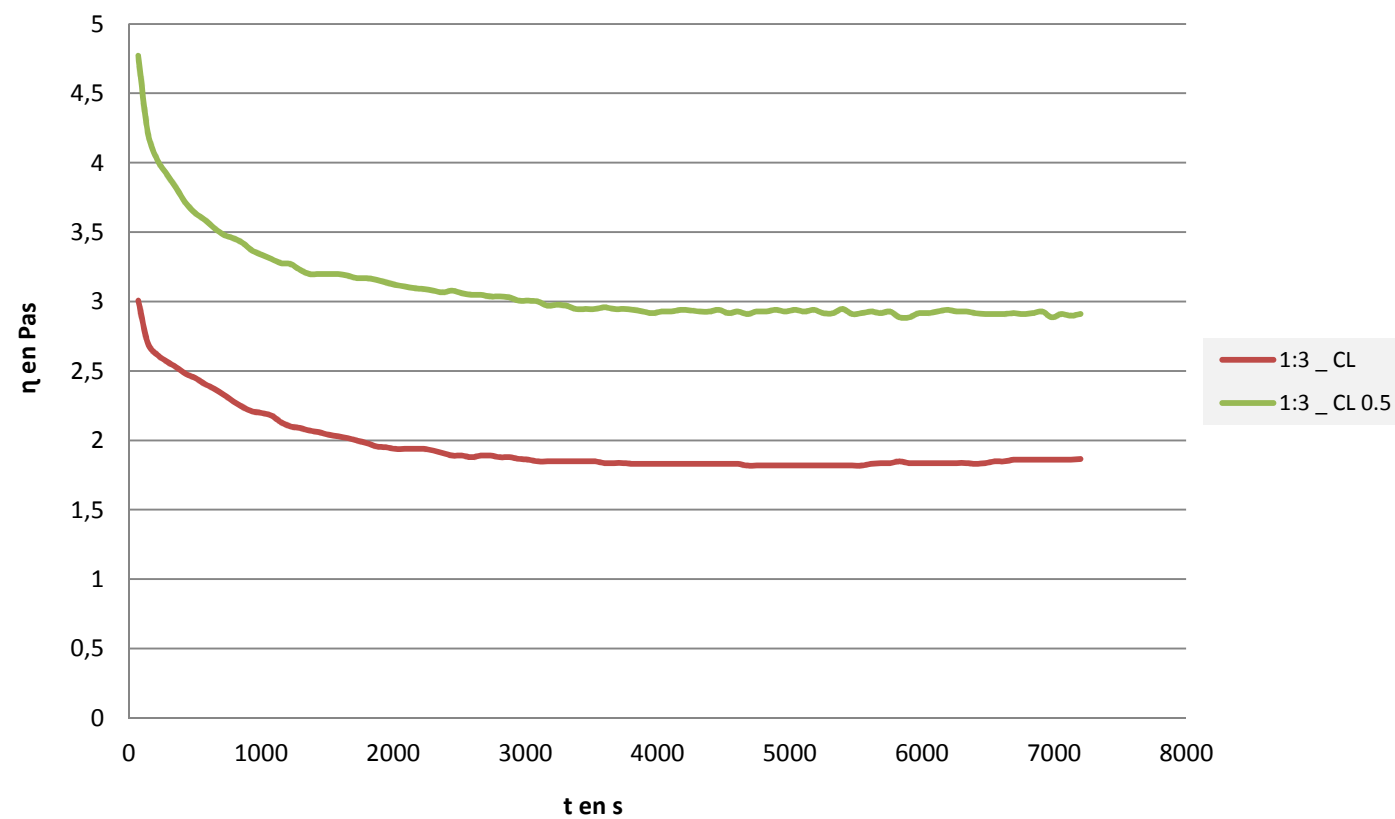
NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



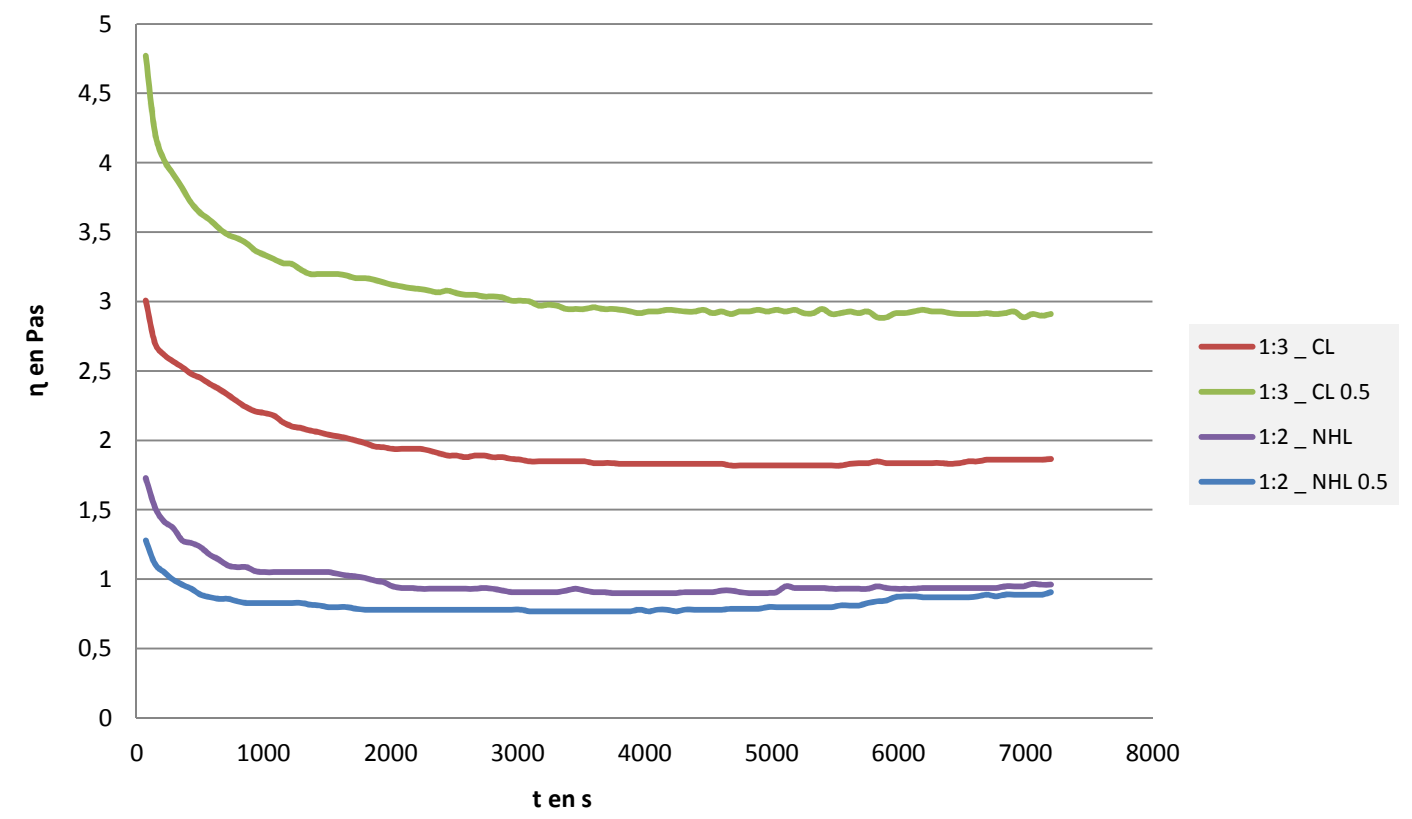
Media de los tres ensayos de la viscosidad a diferente temperatura

Media de los tres ensayos de la viscosidad de las cuatro mezclas

Viscosidad Cal Aérea con Árido



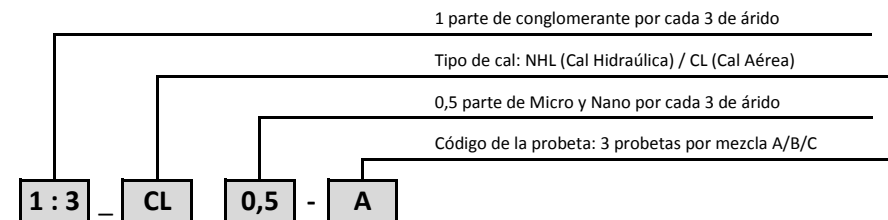
Comparación de las viscosidades



ENSAYO DE VISCOSIDAD DE LA CAL HIDRÁULICA CON ÁRIDO

GRÁFICA DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y SUS RESULTADOS

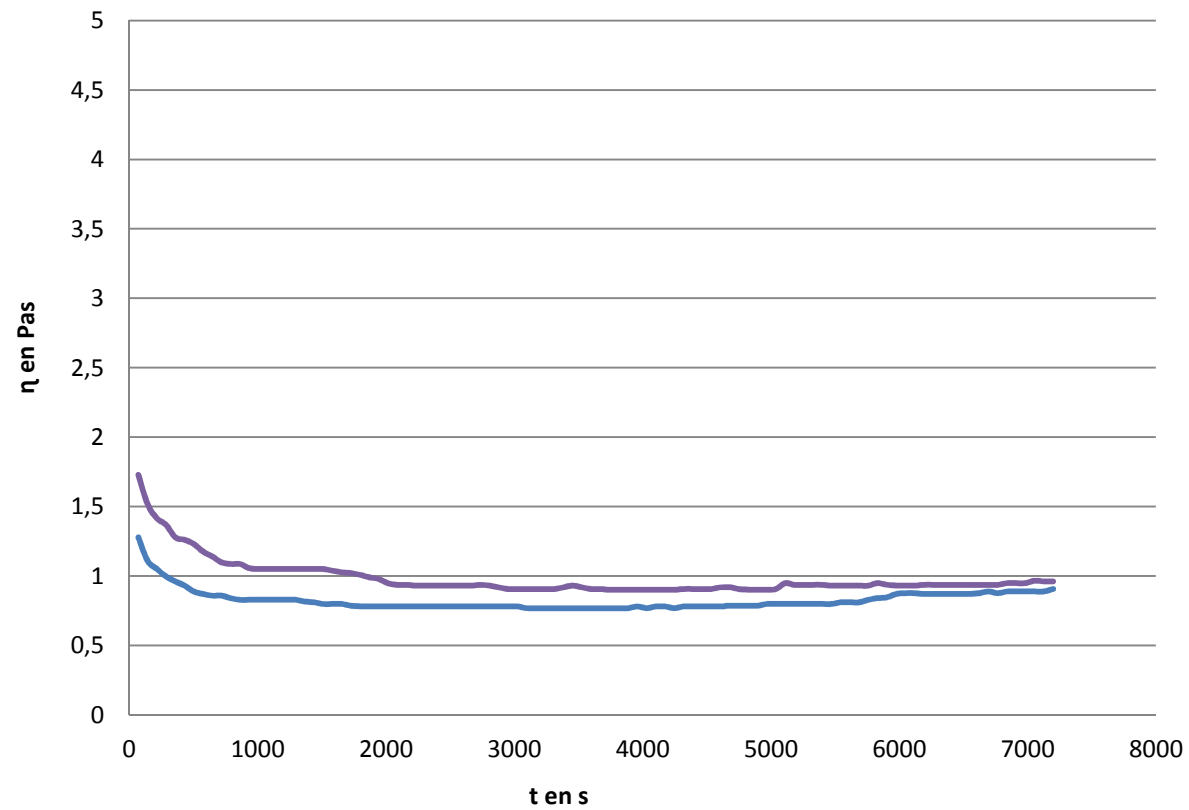
NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



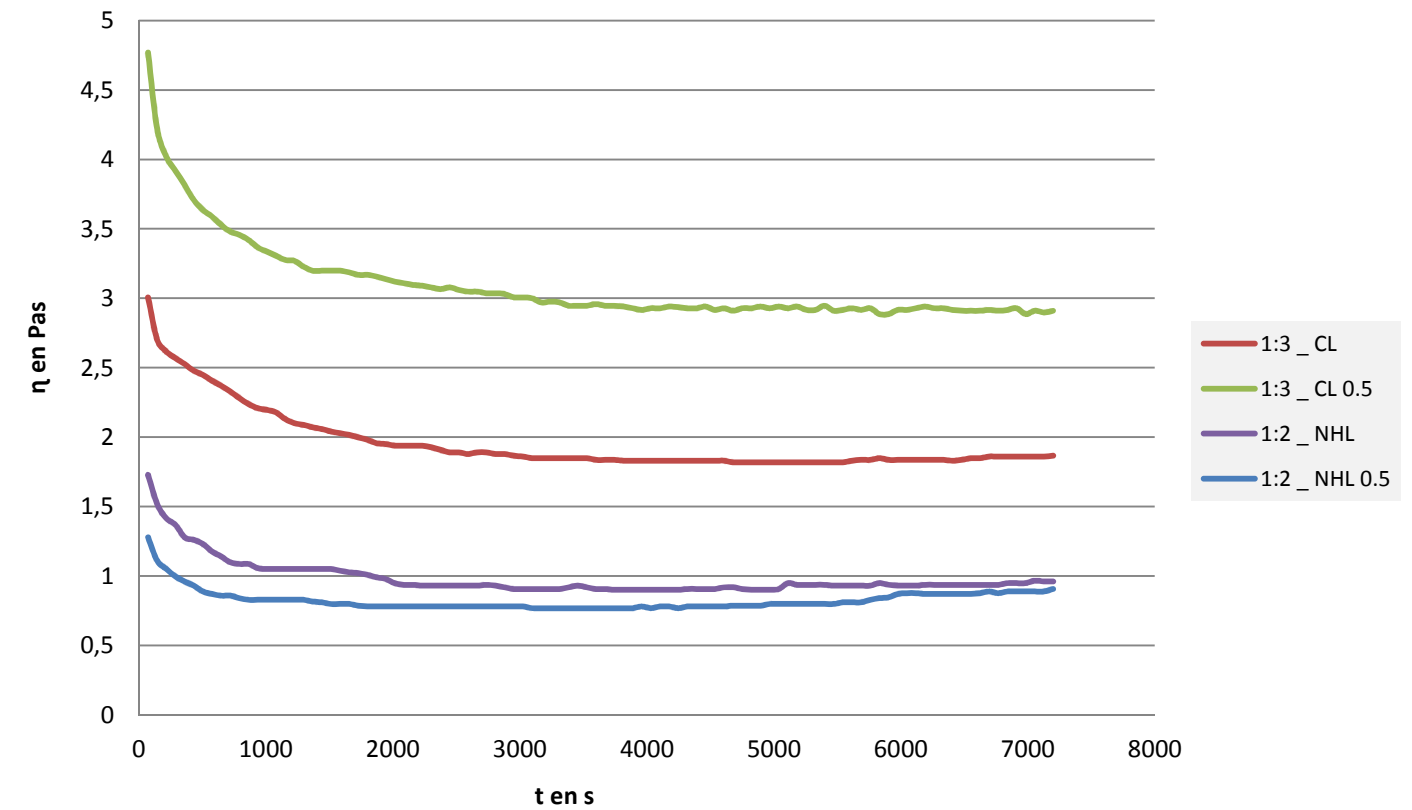
Media de los tres ensayos de la viscosidad a diferente temperatura

Media de los tres ensayos de la viscosidad de las cuatro mezclas

Comparación de las viscosidades



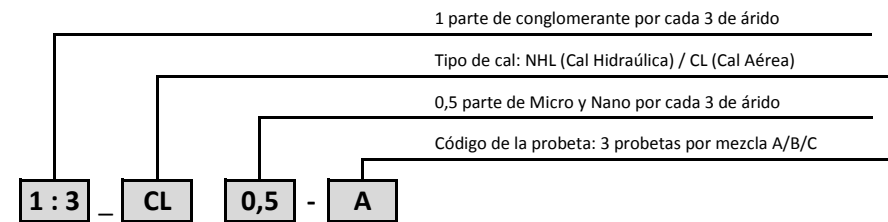
Comparación de las viscosidades



ENSAYO DE VISCOSIDAD DE LAS 4 MEZCLAS

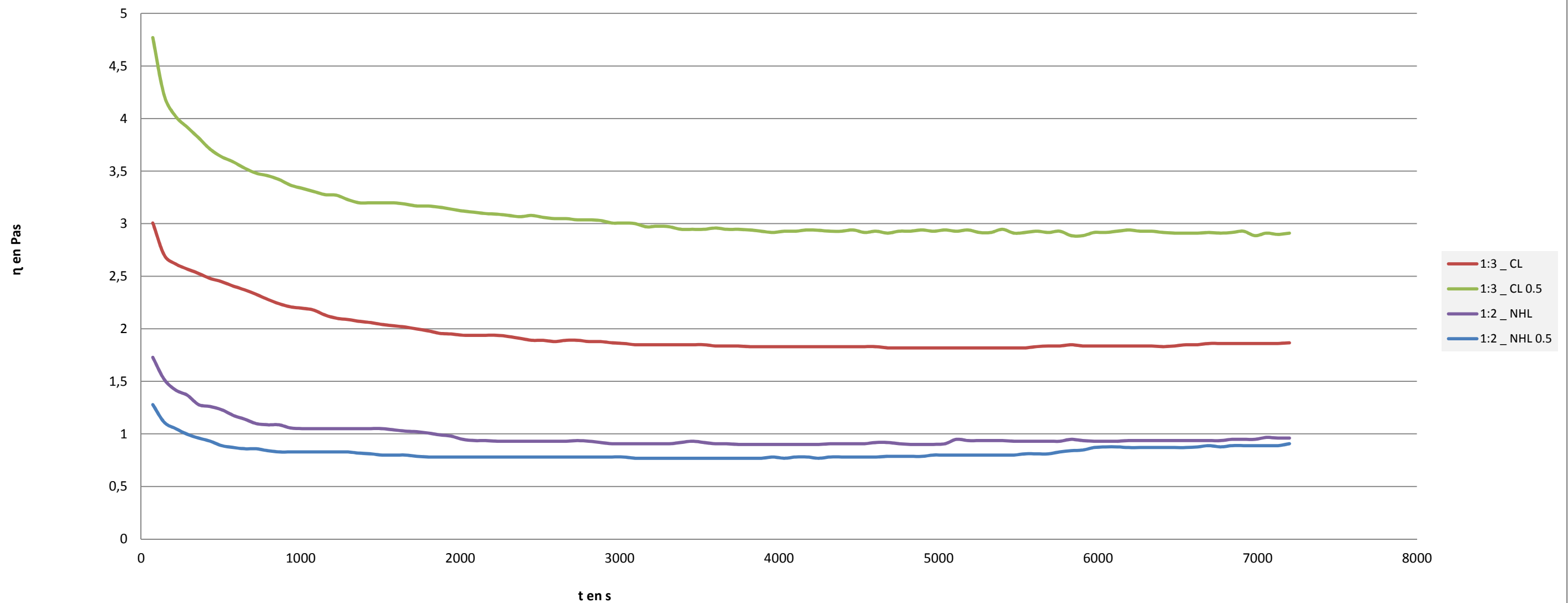
GRÁFICA DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y SUS RESULTADOS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



Media de los tres ensayos de la viscosidad de las cuatro mezclas

Comparación de las viscosidades



5 ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD



PROCEDIMIENTO TEÓRICO

Esta prueba es de suma importancia ya que la densidad en estado fresco influirá mucho en la inyectabilidad y puesta en obra del producto objeto de estudio, sabemos que cuanto menos densa más fácil será de penetrar y distribuirse por dentro de los agujeros y huecos del paramento a consolidar. Estudiaremos las 4 diferentes mezclas y a posteriori, las compararemos para sacar conclusiones.

Composición de las mezclas a ensayar

1:3 _ CL (Mezcla 1):

3 Micromar + 0,70 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

1:3 _ CL 0,5 (Mezcla 2):

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

1:2 _ NHL (Mezcla 3):

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

1:2 _ NHL 0,5 (Mezcla 4):

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

Procedimiento de la prueba

- 1.- Poner el recipiente encima de la balanza y poner a 0 gr.
 - 2.- Llenar el recipiente de agua ya que conocemos su peso específico (1 gr/cm³), y lo pesamos, por lo tanto así se conoce el volumen del recipiente.
 - 3.- A continuación, realizar la mezcla, y con el recipiente en la balanza, otra vez se pone a 0, y llenar el recipiente con la lechada realizada.
 - 4.- Llenar el recipiente al ras, y con la espátula recta quitamos el sobrante de la superficie.
 - 5.- Compactar suavemente con la cuchara para asegurarse que el recipiente no admite más producto.
 - 6.- Limpiar el borde superior de la copa eliminando los restos de mezcla o agua que hayan quedado adheridos a los bordes del recipiente.
 - 7.- Pesamos el cilindro con la lechada y apuntamos el resultado en la tabla M₁(g)
- 4) Calculamos la densidad en estado fresco de la lechada utilizando la siguiente fórmula
 $\rho_{\text{fresco}} (\text{g} \cdot \text{cm}^3) = M_m / 133,43 \text{ gr}$

Siendo 133,42 gr el volumen del recipiente

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



Colocación del recipiente y poner a cero



Enrasado de la mezcla a estudiar



Limpieza del recipienteprevio pesaje



Pesaje del recipiente lleno de la mezcla

CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Peso Seco (0 % humedad)	Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Volumen aparente	Densidad aparente	Volumen del recipiente	Peso mezcla (Mm = M ₁ - M ₀)	Densidad en fresco
			g	mm	mm	mm	cm ³	g/cm ³	cm ³	g	g/cm ³
1:3 _CL		A	441,23	L 1 A 158,62 L 2 A 159,42 L 3 A 158,37 L 4 A 160,45	B 1 A 39,31 B 2 A 39,64 B 3 A 39,40 B 4 A 39,84	H 1 A 39,57 H 2 A 39,82 H 3 A 39,60 H 4 A 39,67	249,75	1,767	133,42	268,05 268,01	2,009 2,008
MEDIAS				LA 159,22	BA 39,55	HA 39,67	249,75	1,767	133,42	268,03	2,0085
1:3 _CL		B	434,70	L 1 B 157,92 L 2 B 160,12 L 3 B 159,75 L 4 B 159,25	B 1 B 39,25 B 2 B 38,94 B 3 B 40,10 B 4 B 39,80	H 1 B 38,97 H 2 B 39,92 H 3 B 40,20 H 4 B 39,37	249,35	1,743	133,42	268,12 268,10	2,010 2,009
MEDIAS				LB 159,26	BB 39,52	HB 39,62	249,35	1,743	133,42	268,11	2,0096
1:3 _CL		C	425,00	L 1 C 158,62 L 2 C 159,32 L 3 C 158,63 L 4 C 160,25	B 1 C 39,32 B 2 C 39,04 B 3 C 39,91 B 4 C 39,86	H 1 C 39,16 H 2 C 38,96 H 3 C 39,93 H 4 C 40,64	249,69	1,702	133,42	268,08 268,04	2,008 2,008
MEDIAS				LC 159,21	BC 39,53	HC 39,67	249,69	1,702	133,42	268,06	2,0081

CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO											RESULTADOS ENSAYO						
Nombre de la mezcla		Código probeta	Peso Seco (0 % humedad)		Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Volumen aparente		Densidad aparente		Volumen del recipiente	Peso mezcla (Mm = M ₁ - M ₀)	Densidad en fresco
			g		mm		mm		mm		cm ³		g/cm ³				
1:3 _ CL 0,5		A	415,45	L 1 A	159,62	B 1 A	38,57	H 1 A	38,91	249,69	1,664	133,42	263,84	1,982			
				L 2 A	158,58	B 2 A	39,44	H 2 A	39,94				263,80	1,983			
				L 3 A	159,22	B 3 A	39,94	H 3 A	40,21								
				L 4 A	159,85	B 4 A	40,27	H 4 A	39,43								
MEDIAS				LA	159,32	BA	39,56	HA	39,62	249,69	1,664	133,42	263,82	1,9825			
1:3 _ CL 0,5		B	425,00	L 1 B	159,31	B 1 B	40,03	H 1 B	39,34	249,66	1,702	133,42	263,57	1,975			
				L 2 B	159,67	B 2 B	38,82	H 2 B	40,15				263,58	1,975			
				L 3 B	158,36	B 3 B	40,07	H 3 B	39,86								
				L 4 B	159,65	B 4 B	39,29	H 4 B	39,20								
MEDIAS				LB	159,25	BB	39,55	HB	39,64	249,66	1,702	133,42	263,58	1,975			
1:3 _ CL 0,5		C	423,62	L 1 C	159,62	B 1 C	39,22	H 1 C	39,45	249,39	1,699	133,42	263,48	1,971			
				L 2 C	159,31	B 2 C	39,51	H 2 C	38,91				263,45	1,972			
				L 3 C	158,93	B 3 C	39,64	H 3 C	40,21								
				L 4 C	159,53	B 4 C	39,71	H 4 C	39,84								
MEDIAS				LC	159,35	BC	39,52	HC	39,60	249,39	1,699	133,42	263,47	1,9715			

CAL HIDRÁULICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO										RESULTADOS ENSAYO			
Nombre de la mezcla		Código probeta	Peso Seco (0 % humedad)		Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Volumen aparente	Densidad aparente	Volumen del recipiente	Peso mezcla (Mm = M ₁ - M ₀)	Densidad en fresco	
			g	mm									mm
1:2 _ NHL	A	393,70	L 1 A	158,70	B 1 A	38,08	H 1 A	38,98	237,79	1,656	133,42	264,64	1,981
			L 2 A	159,00	B 2 A	38,74	H 2 A	38,80				264,62	1,981
			L 3 A	158,80	B 3 A	39,00	H 3 A	39,12					
			L 4 A	157,90	B 4 A	38,27	H 4 A	38,78					
			MEDIAS		LA	158,60	BA	38,52				HA	38,92
1:2 _ NHL	B	390,45	L 1 B	158,62	B 1 B	39,31	H 1 B	39,57	249,75	1,563	133,42	264,59	1,979
			L 2 B	159,42	B 2 B	39,64	H 2 B	39,82				264,58	1,980
			L 3 B	158,37	B 3 B	39,40	H 3 B	39,60					
			L 4 B	160,45	B 4 B	39,84	H 4 B	39,67					
			MEDIAS		LB	159,22	BB	39,55				HB	39,67
1:2 _ NHL	C	398,40	L 1 C	159,62	B 1 C	39,22	H 1 C	39,45	249,39	1,597	133,42	264,72	1,984
			L 2 C	159,31	B 2 C	39,51	H 2 C	38,91				264,70	1,984
			L 3 C	158,93	B 3 C	39,64	H 3 C	40,21					
			L 4 C	159,53	B 4 C	39,71	H 4 C	39,84					
			MEDIAS		LC	159,35	BC	39,52				HC	39,60

CAL HIDRÁULICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO										RESULTADOS ENSAYO							
Nombre de la mezcla		Código probeta	Peso Seco (0 % humedad)		Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Volumen aparente		Densidad aparente		Volumen del recipiente	Peso mezcla (Mm = M ₁ - M ₀)	Densidad en fresco
			g		mm		mm		mm		cm ³		g/cm ³				
1:2 _ NHL 0,5		A	384,57	L 1 A	159,53	B 1 A	39,37	H 1 A	39,83	249,93	1,539	133,42	261,32	1,844			
				L 2 A	158,58	B 2 A	39,44	H 2 A	39,74				261,32	1,844			
				L 3 A	159,12	B 3 A	39,64	H 3 A	39,61								
				L 4 A	159,75	B 4 A	39,87	H 4 A	39,43								
MEDIAS				LA	159,25	BA	39,58	HA	39,65	249,93	1,539	133,42	261,32	1,844			
1:2 _ NHL 0,5		B	380,23	L 1 B	159,31	B 1 B	39,46	H 1 B	39,34	249,56	1,524	133,42	261,36	1,842			
				L 2 B	159,17	B 2 B	39,63	H 2 B	39,82				261,34	1,841			
				L 3 B	159,36	B 3 B	39,21	H 3 B	39,86								
				L 4 B	159,25	B 4 B	39,89	H 4 B	39,46								
MEDIAS				LB	159,27	BB	39,55	HB	39,62	249,56	1,524	133,42	261,35	1,842			
1:2 _ NHL 0,5		C	384,10	L 1 C	159,42	B 1 C	39,42	H 1 C	39,75	249,54	1,539	133,42	261,41	1,846			
				L 2 C	159,31	B 2 C	39,41	H 2 C	39,37				261,41	1,846			
				L 3 C	159,23	B 3 C	39,54	H 3 C	39,82								
				L 4 C	159,13	B 4 C	39,81	H 4 C	39,54								
MEDIAS				LC	159,27	BC	39,55	HC	39,62	249,54	1,539	133,42	261,41	1,846			

CAL AÉREA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

Volumen Aparente	Densidad Aparente	Densidad en fresco
cm ³	g/cm ³	g/cm ³

DATOS MEZCLA 1:3 _ CL

A	249,75	1,767	2,0085
B	249,35	1,743	2,0096
C	249,69	1,702	2,0081

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

1:3 _ CL	249,60	1,737	2,0087
----------	--------	-------	--------

DATOS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

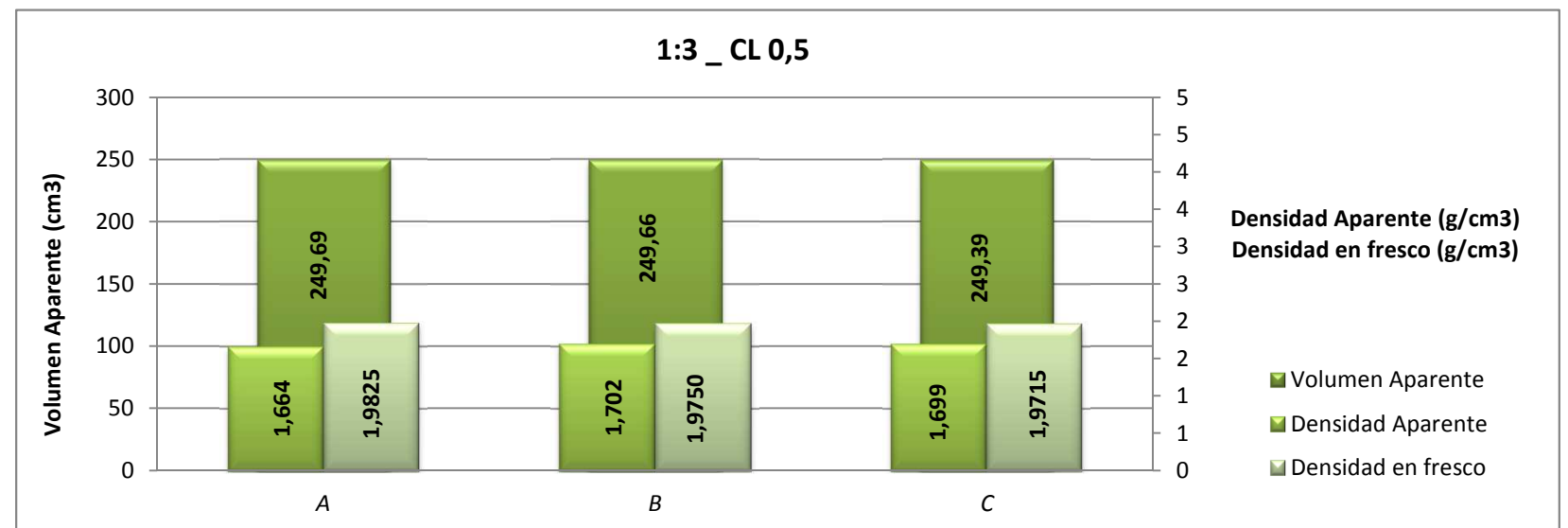
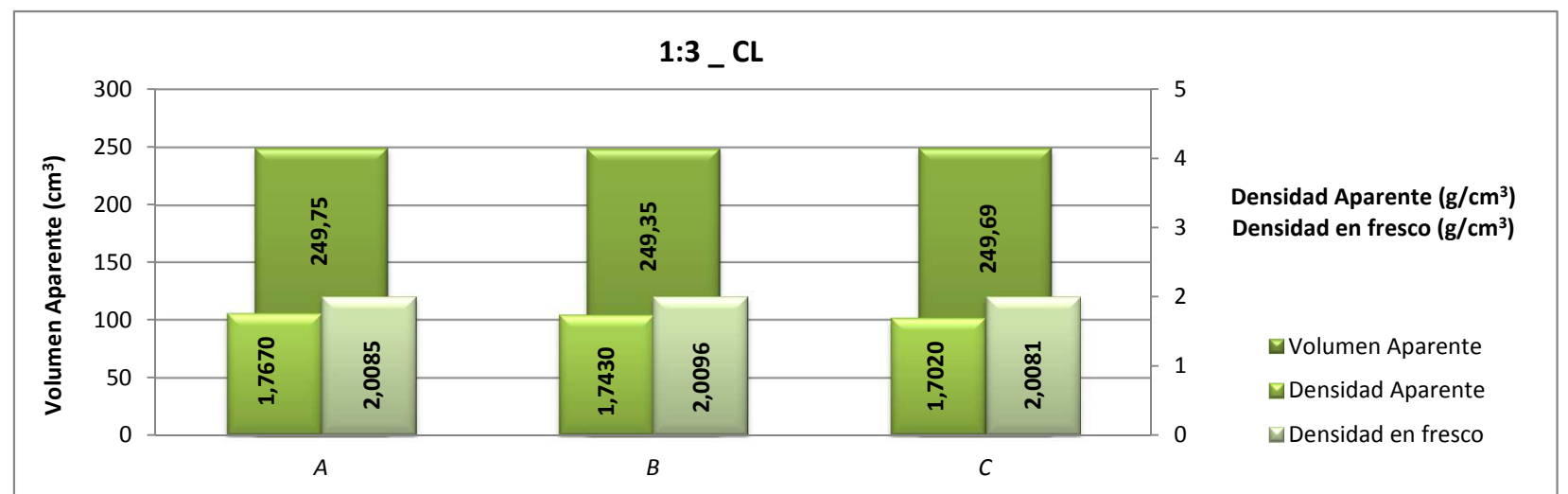
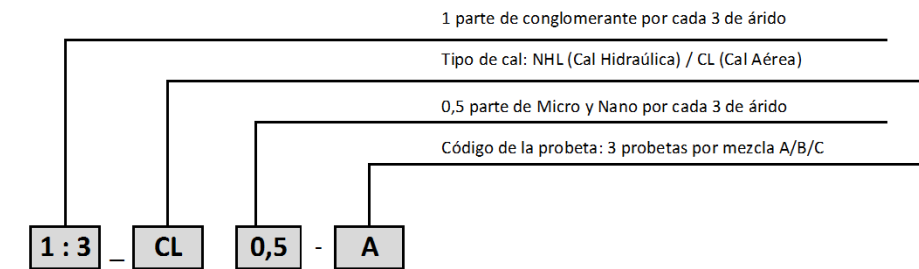
A	249,69	1,664	1,9825
B	249,66	1,702	1,9750
C	249,39	1,699	1,9715

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

1:3 _ CL 0,5	249,58	1,688	1,9763
--------------	--------	-------	--------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



CAL HIDRÁULICA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

Volumen Aparente	Densidad Aparente	Densidad en fresco
cm ³	g/cm ³	g/cm ³

DATOS MEZCLA 1:2 _ NHL

A	237,79	1,656	1,9810
B	249,75	1,563	1,9800
C	249,39	1,597	1,9840

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL

1:2 _ NHL	245,64	1,605	1,9817
-----------	--------	-------	--------

DATOS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

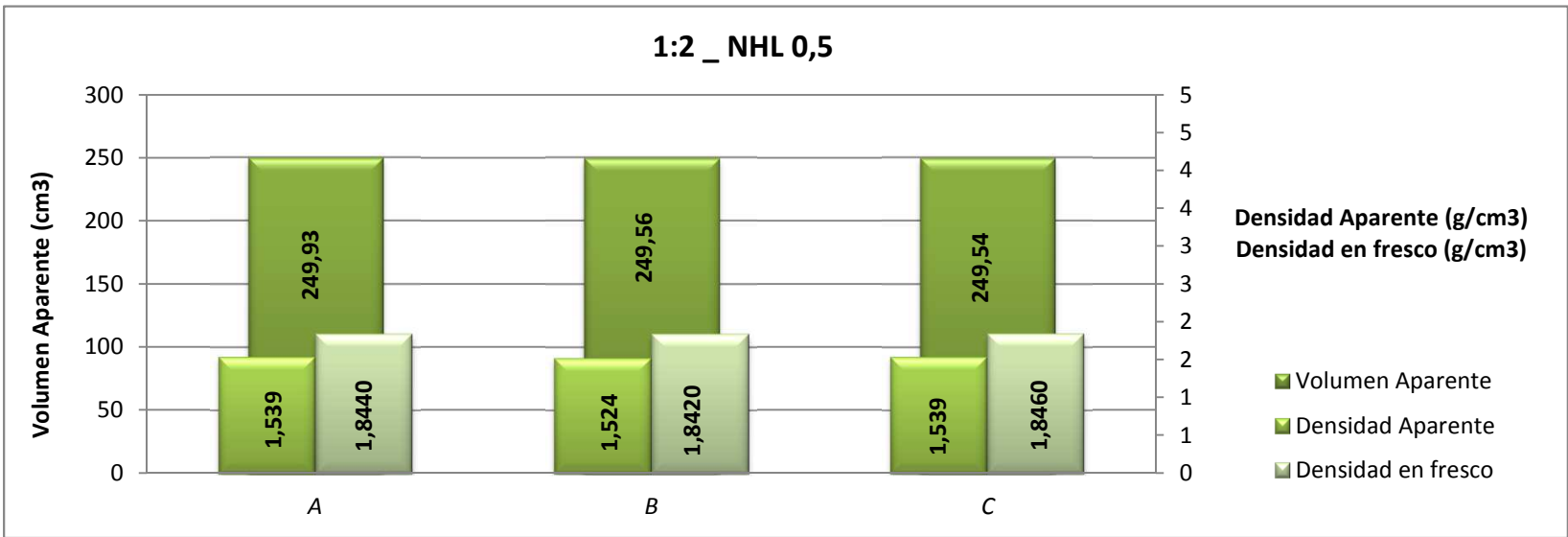
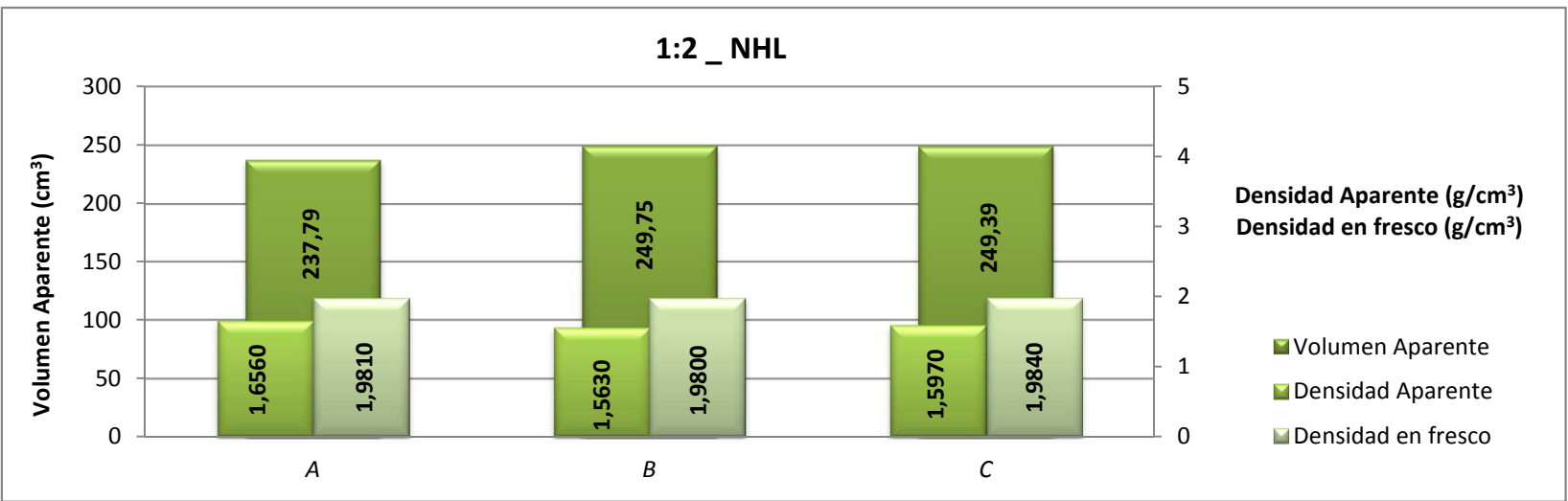
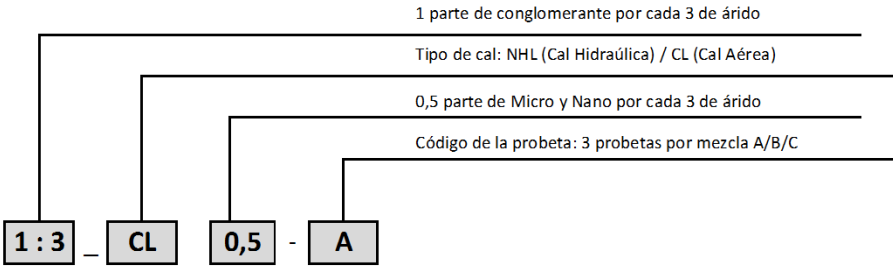
A	249,93	1,539	1,8440
B	249,56	1,524	1,8420
C	249,54	1,539	1,8460

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

1:2 _ NHL 0,5	249,68	1,534	1,8440
---------------	--------	-------	--------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



MEDIAS DENSIDADES CAL AÉREA Y HIDRÁULICA

RESULTADOS ENSAYO

Volumen Aparente	Densidad Aparente	Densidad en fresco
cm ³	g/cm ³	g/cm ³

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

1:3 _ CL	249,60	1,737	2,0087
----------	--------	-------	--------

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

1:3 _ CL 0,5	249,58	1,688	1,9763
--------------	--------	-------	--------

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL

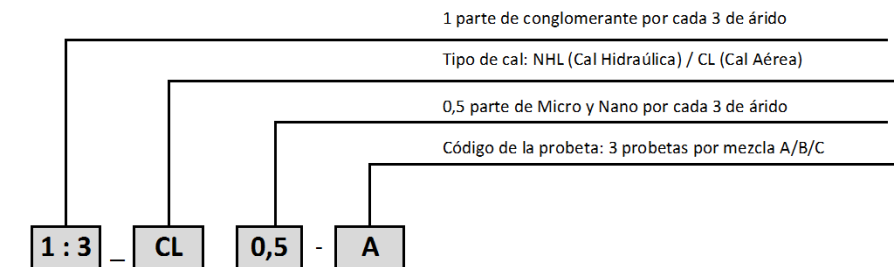
1:2 _ NHL	245,64	1,605	1,9817
-----------	--------	-------	--------

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

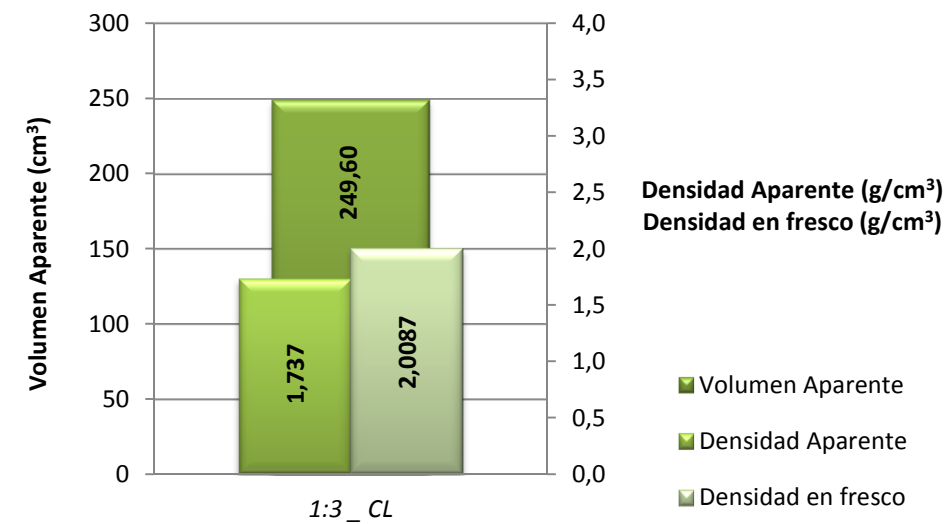
1:2 _ NHL 0,5	249,68	1,534	1,8440
---------------	--------	-------	--------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEDIAS DE DENSIDADES DE CAL AÉREA Y HIDRÁULICA

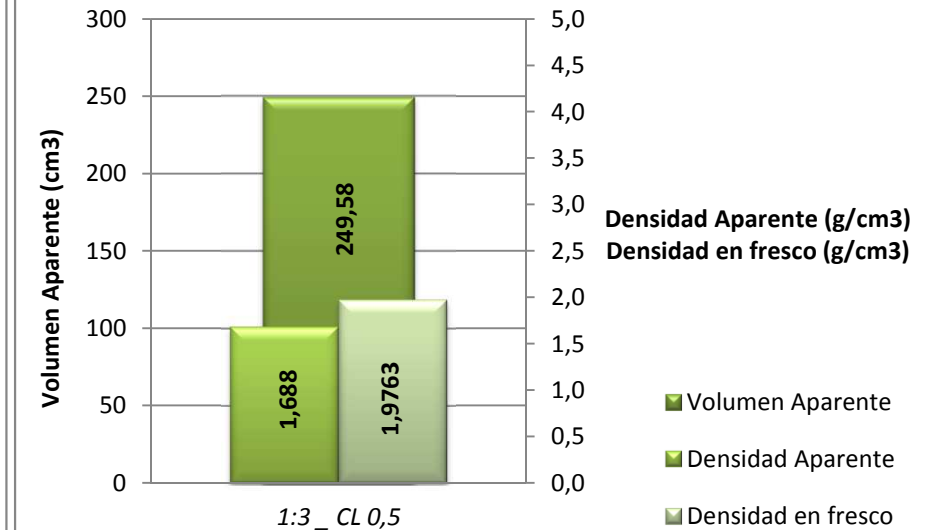
NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



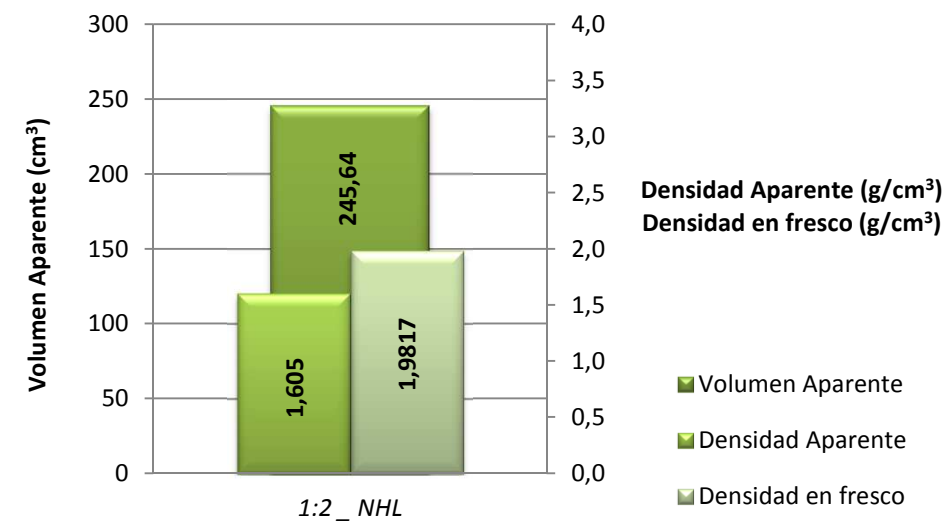
MEDIAS DENSIDAD 1:3 _ CL



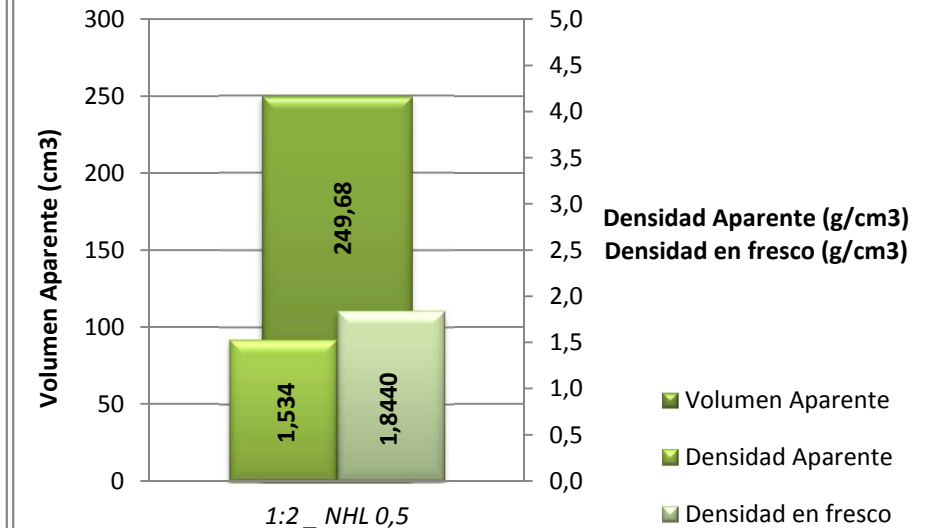
MEDIAS DENSIDAD 1:3 _ CL 0,5



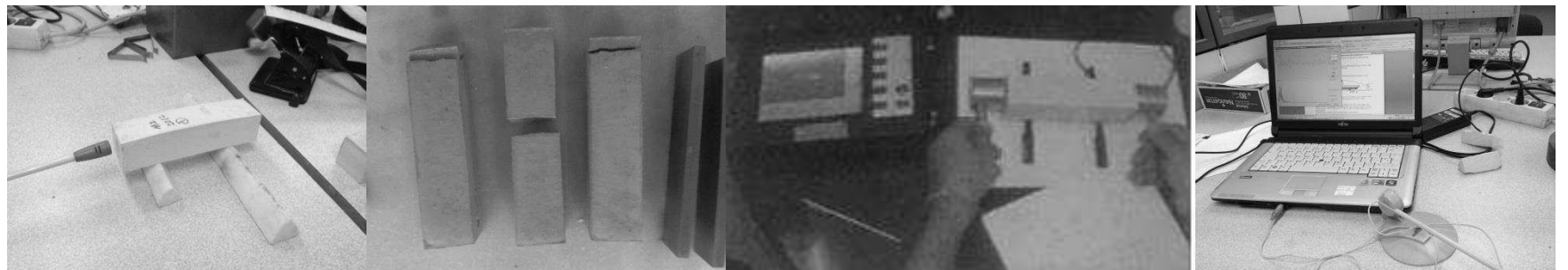
MEDIAS DENSIDAD 1:2 _ NHL



MEDIAS DENSIDAD 1:2 _ NHL 0,5



6 ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DEL MÓDULO ELÁSTICO



PROCEDIMIENTO TEÓRICO MÓDULO ELÁSTICO

Se trata de un ensayo no destructivo, que permite la determinación del módulo de elasticidad del mortero endurecido mediante la determinación de la velocidad de ondas provocadas por un impulso. En nuestro caso el impulso se provoca mediante un ligero golpe en la probeta. Este impulso se transforma en ondas sonoras que recoge un micrófono debidamente ubicado y conectado a un PC.

Composición de las mezclas a inyectar

1:3 _ CL (Mezcla 1):

3 Micromar + 0,70 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

1:3 _ CL 0,5 (Mezcla 2):

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

1:2 _ NHL (Mezcla 3):

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

1:2 _ NHL 0,5 (Mezcla 4):

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

Procedimiento de la prueba

- 1.- Una vez medidos mediante el pie de rey electrónico las 4 longitudes de cada probeta y 2 espesores de cada cara (es decir, 8 medidas), se procede a marcar los puntos de apoyo que se situaran a una distancia de 0,224 L de cada uno de los extremos (siendo L la longitud de la probeta).
- 2.- Bajo dichos puntos de apoyo se colocan las dos piezas triangulares de poliestireno extruido, dispuestas a su vez sobre una superficie antideslizante para impedir el desplazamiento de la probeta al golpearla y evitar así la presencia de sonidos de fondo.
- 3.- Con la probeta ya biapoyada, se dispone el resto del dispositivo para la recepción, el procesamiento y la visualización de la señal.
- 4.- El principal dispositivo receptor es un transductor sin contacto (micrófono) ,a partir del cual la señal es transmitida al PC donde se procesa con el software FFT Analyser (suministrado por la empresa Fakkop).
- 5.- Una vez montado todo el dispositivo, se procede a golpear la probeta con el martillo percutor 6 veces en la cara superior, 6 veces en la opuesta (sentido transversal) y otras 6 veces en la cara de canto (sentido longitudinal).
- 6.- Abrimos el paso de aire del compresor a un caudal constante y una presión de 0,075 Mpa.
- 7.- Se obtiene así, mediante el software descrito anteriormente, la frecuencia de resonancia de esas caras.

Norma de referencia

UNE – EN 14146
UNE – EN – ISO – 12680 – 1

Datos a obtener del ensayo

Se obtiene un monitorizaje en pantalla, que entre otras informaciones, proporciona el dato de la frecuencia fundamental (Main Data).

PROCEDIMIENTO TEÓRICO ULTRASONIDOS

Este ensayo se lleva a cabo como prueba de contraste. Mientras en el apartado anterior se expone como se ha obtenido el MOE_D a partir de la frecuencia de onda que se obtiene al golpear de un modo determinado la probeta prismática, en el ensayo que ahora nos ocupa se expone la obtención del MOE_D a partir de la velocidad de propagación de ondas de ultrasonidos a través de la probeta.

Composición de las mezclas a inyectar

1:3 _ CL (Mezcla 1):

3 Micromar + 0,70 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

1:3 _ CL 0,5 (Mezcla 2):

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

1:2 _ NHL (Mezcla 3):

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

1:2 _ NHL 0,5 (Mezcla 4):

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

Procedimiento de la prueba

- 1.- Para favorecer la correcta transmisión de ondas sonoras a través de la probeta ensayada, se aplica un gel de pH neutro en las dos caras de la probeta donde se pondrán en contacto el emisor y receptor de ultrasonidos.
- 2.- La probeta se apoya horizontalmente sobre dos soportes para minimizar la superficie de contacto y evitar así interferencias de ondas sonoras ambientales.
- 3.- Se ponen en contacto los dos “bornes” del emisor de ultrasonidos con los extremis de la probeta y se anota el tiempo de transferencia de los ultrasonidos.
- 4.- Con los datos obtenidos, se calcula la velocidad de propagación de ultrasonidos y mediante la formulación adecuada y teniendo en cuenta la densidad, las dimensiones y el coeficiente de Poisson del material, se obtiene el MOE_D del sentido longitudinal de la probeta del material estudiado.

Norma de referencia

UNE – EN 14146
UNE – EN – ISO – 12680 – 1

Datos a obtener del ensayo

Se obtiene Módulo Elástico Dinámico

CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla	Código probeta	Separación de los soportes		Peso probeta	Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Frecuencia flexión (Cara 1)	Frecuencia flexión (Cara 2)	Frecuencia longitudinal (Cara 3)	Tiempo de paso ultrasonidos	Volumen aparente	Densidad aparente	Velocidad de paso sonido martillo longitudinal	MOE Flexión (Cara 1)	MOE Flexión (Cara 2)	MOE Longitudinal (Cara 3)	Velocidad de paso ultrasonidos longitudinal	MOE Longitudinal
		mm	g												mm	mm	mm		

1:3 _CL		A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
---------	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1:3 _CL		B			a	35,20	434,70	L 1 B	157,92	B 1 B	39,25	H 1 B	38,97	2400	2397	6281	79,84	249,35	1743,33	2000,41	5,439	5,455	6,425	1994,24	6,385
			b	88,20				L 2 B	160,12	B 2 B	38,94	H 2 B	39,92	2405	2401	6279	79,86								
			c	35,20				L 3 B	159,75	B 3 B	40,10	H 3 B	40,20	2403	2400	6280	79,87	Poisson (μ)							
			d	79,30				L 4 B	159,25	B 4 B	39,80	H 4 B	39,37	2398	2399	6281	79,89	0,18							
														2396	2397	6279	79,84								
														2401	2405	6282	79,86								
																		Coeficiente i/I							
																		1,222							
MEDIAS								LB	159,26	BB	39,52	HB	39,62	2401	2400	6280	79,86								

1:3 _CL		C			a	35,20	425,00	L 1 C	158,62	B 1 C	39,32	H 1 C	39,16	2443	2446	6298	79,91	249,69	1702,11	1697,76	5,494	5,516	6,308	1992,3	6,222
			b	88,20	L 2 C	159,32	B 2 C	39,04	H 2 C	38,96	2446	2444	6302	79,93	Poisson (μ) 0,18										
		c	35,20	L 3 C	158,63	B 3 C	39,91	H 3 C	39,93	2440	2449	6301	79,89												
		d	79,30	L 4 C	160,25	B 4 C	39,86	H 4 C	40,64	2451	2440	6298	79,88												
											2448	2441	6301	79,93	Coeficiente i/I 1,222										
											2446	2445	6300	79,90											
MEDIAS					LC	159,21	BC	39,53	HC	39,67	2446	2444	6300	79,91											

CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Separación de los soportes		Peso probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta	Altura de la probeta		Frecuencia flexión (Cara 1)	Frecuencia flexión (Cara 2)	Frecuencia longitudinal (Cara 3)	Tiempo de paso ultrasonidos	Volumen aparente	Densidad aparente	Velocidad de paso sonido martillo longitudinal	MOE Flexión (Cara 1)	MOE Flexión (Cara 2)	MOE Longitudinal (Cara 3)	Velocidad de paso ultrasonidos longitudinal	MOE Longitudinal										
			mm		g	mm		mm	mm		Hz	Hz	Hz	µs	cm³	Kg/m³	m/s	Gpa	Gpa	Gpa	m/s	Gpa										
1:3 _CL 0,5		A	a	35,20	415,45	L 1 A	159,62	B 1 A	38,57	H 1 A	38,91	2401	2400	6289	79,92	249,69	1663,84	2004,37	5,197	5,208	6,156	1993,71	6,091									
			b	88,20		L 2 A	158,58	B 2 A	39,44	H 2 A	39,94	2402	2402	6291	79,89	Poisson (µ) 0,18																
			c	35,20		L 3 A	159,22	B 3 A	39,94	H 3 A	40,21	2400	2398	6292	79,91																	
			d	79,30		L 4 A	159,85	B 4 A	40,27	H 4 A	39,43	2400	2399	6289	79,89		Coeficiente i/I 1,222															
												2402	2401	6290	79,90																	
												2399	2402	6292	79,92																	
			MEDIAS			LA	159,32	BA	39,56	HA	39,62	2401	2400	6291	79,91																	
1:3 _CL 0,5		B	a	35,20	425,00	L 1 B	159,31	B 1 B	40,03	H 1 B	39,34	2425	2424	6313	79,96	249,66	1702,30	2010,92	5,410	5,432	6,340	1991,09	6,215									
			b	88,20		L 2 B	159,67	B 2 B	38,82	H 2 B	40,15	2423	2425	6312	79,98	Poisson (µ) 0,18																
			c	35,20		L 3 B	158,36	B 3 B	40,07	H 3 B	39,86	2423	2427	6313	79,97																	
			d	79,30		L 4 B	159,65	B 4 B	39,29	H 4 B	39,20	2424	2424	6315	79,97		Coeficiente i/I 1,222															
												2426	2426	6313	79,99																	
												2423	2425	6314	79,96																	
			MEDIAS			LB	159,25	BB	39,55	HB	39,64	2424	2425	6313	79,97																	
1:3 _CL 0,5		C	a	35,20	423,62	L 1 C	159,62	B 1 C	39,22	H 1 C	39,45	2413	2419	6306	80,05	249,39	1698,60	2009,74	5,372	5,416	6,319	1991,10	6,202									
			b	88,20		L 2 C	159,31	B 2 C	39,51	H 2 C	38,91	2415	2421	6308	80,02	Poisson (µ) 0,18																
			c	35,20		L 3 C	158,93	B 3 C	39,64	H 3 C	40,21	2413	2422	6307	80,03																	
			d	79,30		L 4 C	159,53	B 4 C	39,71	H 4 C	39,84	2412	2420	6308	80,05		Coeficiente i/I 1,222															
												2414	2421	6306	80,03																	
												2417	2418	6305	80,02																	
			MEDIAS			LC	159,35	BC	39,52	HC	39,60	2414	2420,17	6307	80,03																	

CAL HIDRAULICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Separación de los soportes		Peso probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Frecuencia flexión (Cara 1)	Frecuencia flexión (Cara 2)	Frecuencia longitudinal (Cara 3)	Tiempo de paso ultrasonidos	Volumen aparente	Densidad aparente	Velocidad de paso sonido martillo longitudinal	MOE Flexión (Cara 1)	MOE Flexión (Cara 2)	MOE Longitudinal (Cara 3)	Velocidad de paso ultrasonidos longitudinal	MOE Longitudinal	
			mm		g	mm		mm		mm		Hz	Hz	Hz	µs	cm³	Kg/m³	m/s	Gpa	Gpa	Gpa	m/s	Gpa	
1:2 _ NHL		A	a	35,20	393,70	L 1 B	158,70	B 1 B	38,08	H 1 B	38,98	2322	2326	5703	86,30	237,79	1655,67	1808,73	4,886	4,984	4,988	1837,99	5,151	
		b	88,20	L 2 B		159,00	B 2 B	38,74	H 2 B	38,80	2319	2325	5701	86,29	Poisson (µ)									
		c	35,20	L 3 B		158,80	B 3 B	39,00	H 3 B	39,12	2320	2328	5702	86,31	Coeficiente i/l									
		d	79,30	L 4 B		157,90	B 4 B	38,27	H 4 B	38,78	2322	2326	5704	86,28	1,222									
											2323	2327	5702	86,29										
										2321	2328	5701	86,28											
MEDIAS						LB	158,60	BB	38,52	HB	38,92	2321	2327	5702	86,29									
1:2 _ NHL		B	a	35,20	390,45	L 1 B	158,62	B 1 B	39,31	H 1 B	39,57	2327	2331	5708	85,82	249,75	1563,35	1818,13	4,568	4,608	4,759	1855,22	4,956	
		b	88,20	L 2 B		159,42	B 2 B	39,64	H 2 B	39,82	2325	2330	5709	85,84	Poisson (µ)									
		c	35,20	L 3 B		158,37	B 3 B	39,40	H 3 B	39,60	2328	2331	5712	85,80	Coeficiente i/l									
		d	79,30	L 4 B		160,45	B 4 B	39,84	H 4 B	39,67	2325	2333	5708	85,82	1,222									
											2326	2331	5710	85,83										
										2327	2332	5711	85,81											
MEDIAS						LB	159,22	BB	39,55	HB	39,67	2326	2331	5710	85,82									
1:2 _ NHL		C	a	35,20	398,40	L 1 B	159,62	B 1 B	39,22	H 1 B	39,45	2331	2343	5715	84,73	249,39	1597,48	1820,92	4,708	4,769	4,878	1880,43	5,202	
		b	88,20	L 2 B		159,31	B 2 B	39,51	H 2 B	38,91	2332	2341	5712	84,75	Poisson (µ)									
		c	35,20	L 3 B		158,93	B 3 B	39,64	H 3 B	40,21	2329	2342	5713	84,76	Coeficiente i/l									
		d	79,30	L 4 B		159,53	B 4 B	39,71	H 4 B	39,84	2330	2343	5712	84,74	1,222									
											2331	2340	5714	84,73										
										2329	2341	5716	84,75											
MEDIAS						LB	159,35	BB	39,52	HB	39,60	2330	2342	5714	84,74									

CAL HIDRAULICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Separación de los soportes		Peso probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta	Altura de la probeta		Frecuencia flexión (Cara 1)	Frecuencia flexión (Cara 2)	Frecuencia longitudinal (Cara 3)	Tiempo de paso ultrasonidos	Volumen aparente	Densidad aparente	Velocidad de paso sonido martillo longitudinal	MOE Flexión (Cara 1)	MOE Flexión (Cara 2)	MOE Longitudinal (Cara 3)	Velocidad de paso ultrasonidos longitudinal	MOE Longitudinal	
			mm		g	mm		mm	mm		Hz	Hz	Hz	µs	cm³	Kg/m³	m/s	Gpa	Gpa	Gpa	m/s	Gpa	
1:2 _ NHL 0,5		A	a	35,20	384,57	L 1 B	159,53	B 1 B	39,37	H 1 B	39,83	2095	2095	2154	102,30	249,93	1538,73	678,07	3,566	3,576	0,698	1556,49	3,433
		b	88,20	L 2 B		158,58	B 2 B	39,44	H 2 B	39,74	2084	2084	2165	102,32	Poisson (µ) 0,18								
		c	35,20	L 3 B		159,12	B 3 B	39,64	H 3 B	39,61	2045	2045	2154	102,29									
		d	79,30	L 4 B		159,75	B 4 B	39,87	H 4 B	39,43	2095	2095	2155	102,31		Coeficiente i/I 1,222							
										2010	2010	2100	102,32										
										2095	2095	2098	102,31										
MEDIAS						LB	159,25	BB	39,58	HB	39,65	2071	2071	2138	102,31								
1:2 _ NHL 0,5		B	a	35,20	380,23	L 1 B	159,31	B 1 B	39,46	H 1 B	39,34	2054	2054	2154	102,67	249,56	1523,6	682,59	3,443	3,452	0,654	1551,15	3,376
		b	88,20	L 2 B		159,17	B 2 B	39,63	H 2 B	39,82	2000	2000	2165	102,68	Poisson (µ) 0,18								
		c	35,20	L 3 B		159,36	B 3 B	39,21	H 3 B	39,86	2054	2054	2215	102,66		Coeficiente i/I 1,222							
		d	79,30	L 4 B		159,25	B 4 B	39,89	H 4 B	39,46	2054	2054	2155	102,68			Coeficiente i/I 1,222						
										2000	2000	2154	102,66										
										2095	2095	2014	102,70										
MEDIAS						LB	159,27	BB	39,55	HB	39,62	2043	2043	2143	102,68								
1:2 _ NHL 0,5		C	a	35,20	384,10	L 1 B	159,42	B 1 B	39,42	H 1 B	39,75	2028	2078	2164	102,46	249,54	1539,21	683,07	3,492	3,589	0,661	1554,48	3,425
		b	88,20	L 2 B		159,31	B 2 B	39,41	H 2 B	39,37	2048	2013	2164	102,44	Poisson (µ) 0,18								
		c	35,20	L 3 B		159,23	B 3 B	39,54	H 3 B	39,82	2028	2096	2215	102,45		Coeficiente i/I 1,222							
		d	79,30	L 4 B		159,13	B 4 B	39,81	H 4 B	39,54	2054	2054	2155	102,47			Coeficiente i/I 1,222						
										2028	2098	2154	102,46										
										2095	2095	2014	102,49										
MEDIAS						LB	159,27	BB	39,55	HB	39,62	2047	2072	2144	102,46								

CAL AÉREA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

MOE FLEXIÓN (Cara 1)	MOE FLEXIÓN (Cara 2)	MOE LONGITUDINAL (Cara 3)	MOE LONGITUDINAL
GPa	GPa	GPa	GPa

DATOS MEZCLA 1:3 _ CL

A	5,771	5,805	6,571	6,428
B	5,439	5,455	6,425	6,385
C	5,494	5,516	6,308	6,222

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

1:3 _ CL	5,568	5,592	6,435	6,345
----------	-------	-------	-------	-------

DATOS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

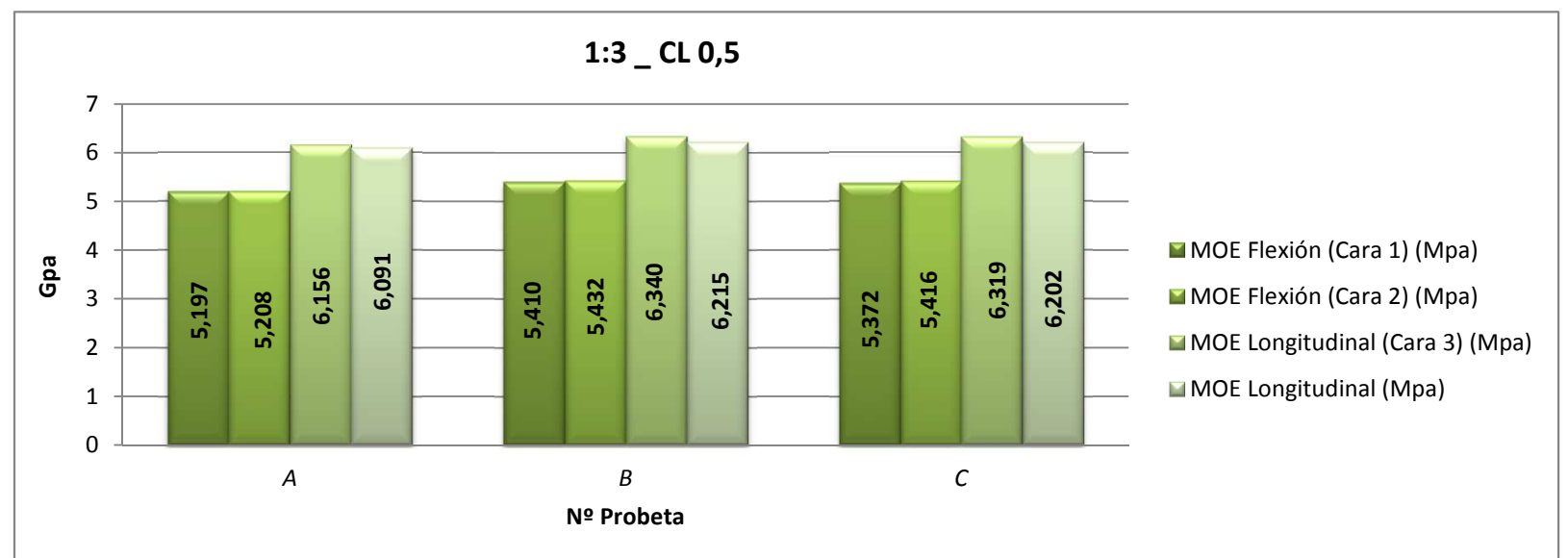
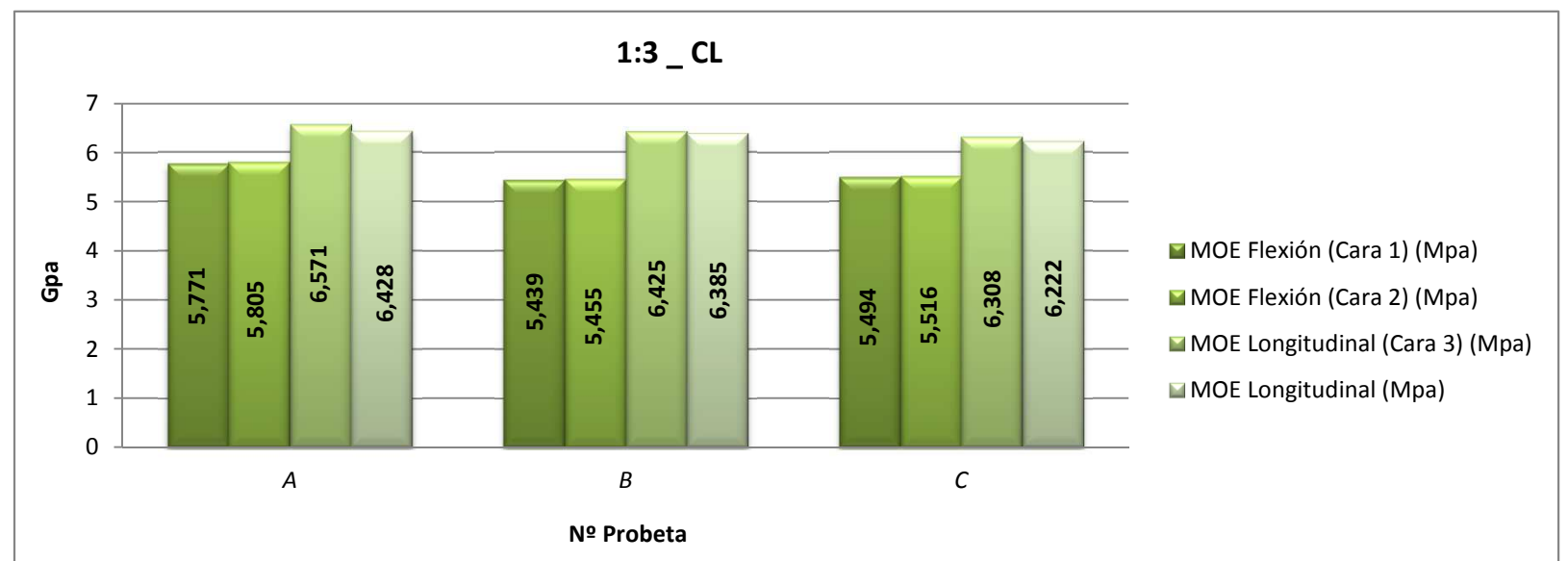
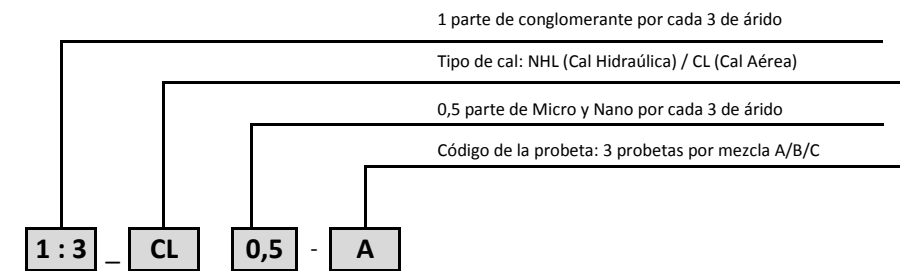
A	5,197	5,208	6,156	6,091
B	5,410	5,432	6,340	6,215
C	5,372	5,416	6,319	6,202

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

1:3 _ CL 0,5	5,326	5,352	6,272	6,169
--------------	-------	-------	-------	-------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

MOE FLEXIÓN (Cara 1)	MOE FLEXIÓN (Cara 2)	MOE LONGITUDINAL (Cara 3)	MOE LONGITUDINAL
Gpa	Gpa	Gpa	Gpa

DATOS MEZCLA 1:2 _ NHL

A	4,886	4,984	4,988	5,151
B	4,568	4,608	4,759	4,956
C	4,708	4,769	4,878	5,202

MEDIAS MEZCLA 1:2 - NHL

1:2 _ NHL	4,721	4,787	4,875	5,103
-----------	-------	-------	-------	-------

DATOS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

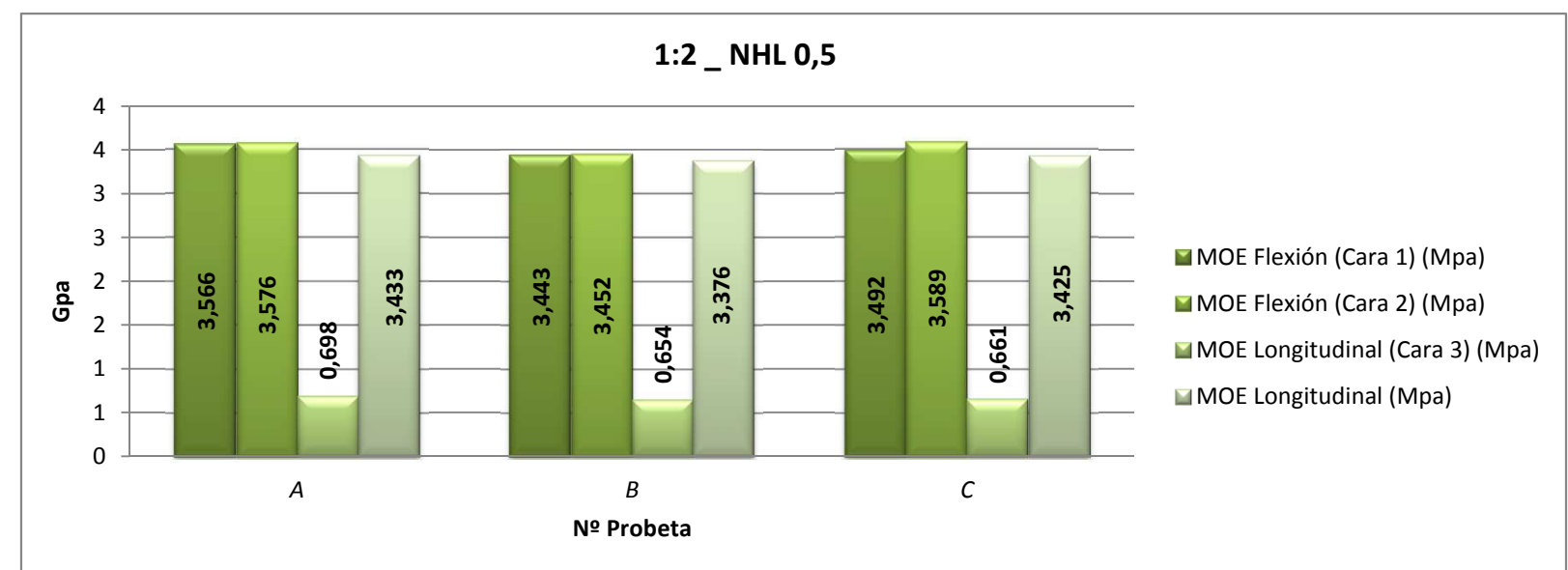
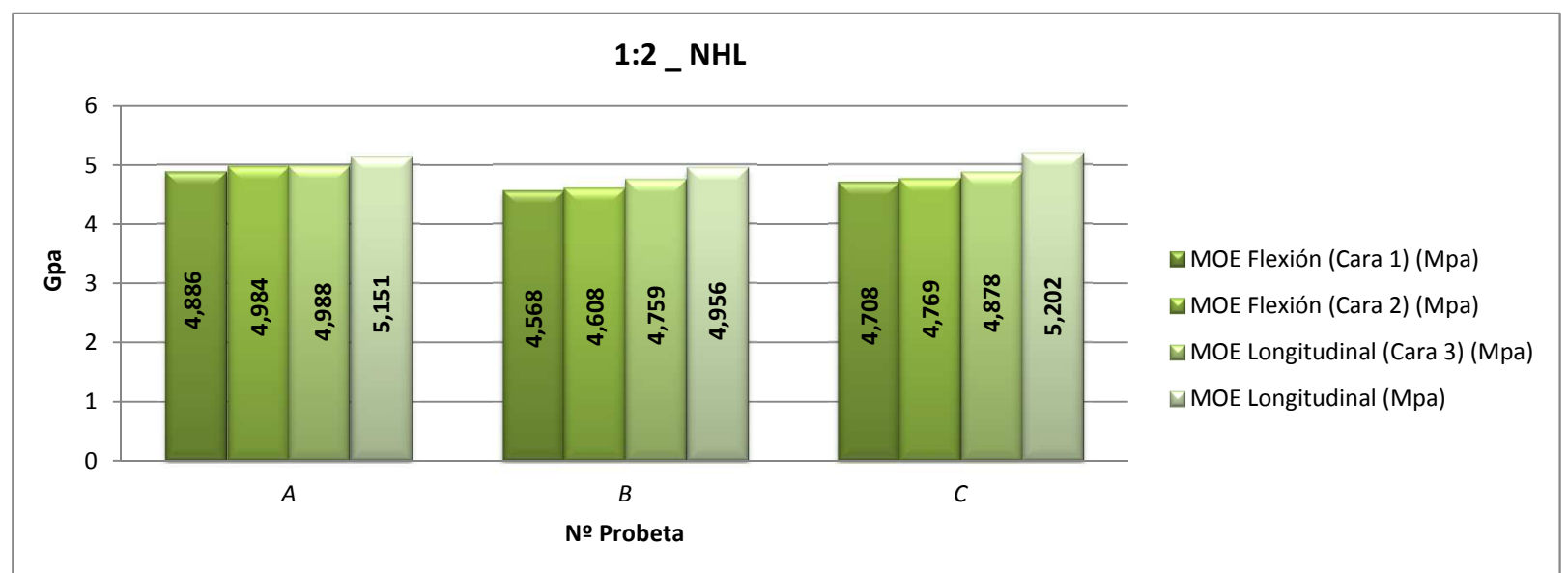
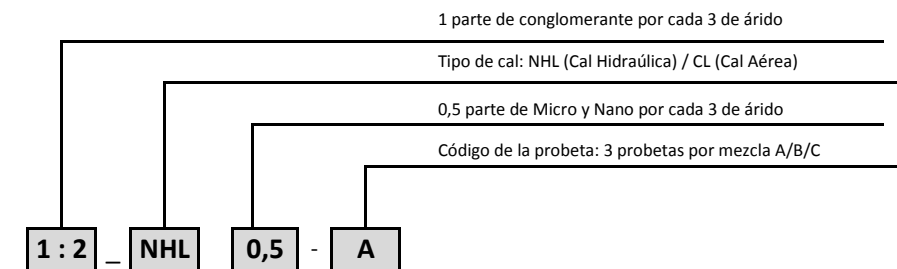
A	3,566	3,576	0,698	3,433
B	3,443	3,452	0,654	3,376
C	3,492	3,589	0,661	3,425

MEDIAS MEZCLA 1:2_ NHL 0,5

1:2 _ NHL 0,5	3,500	3,539	0,671	3,411
---------------	-------	-------	-------	-------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



CAL AÉREA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

MOE FLEXIÓN (Cara 1)	MOE FLEXIÓN (Cara 2)	MOE LONGITUDINAL (Cara 3)	MOE LONGITUDINAL
Gpa	Gpa	Gpa	Gpa

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

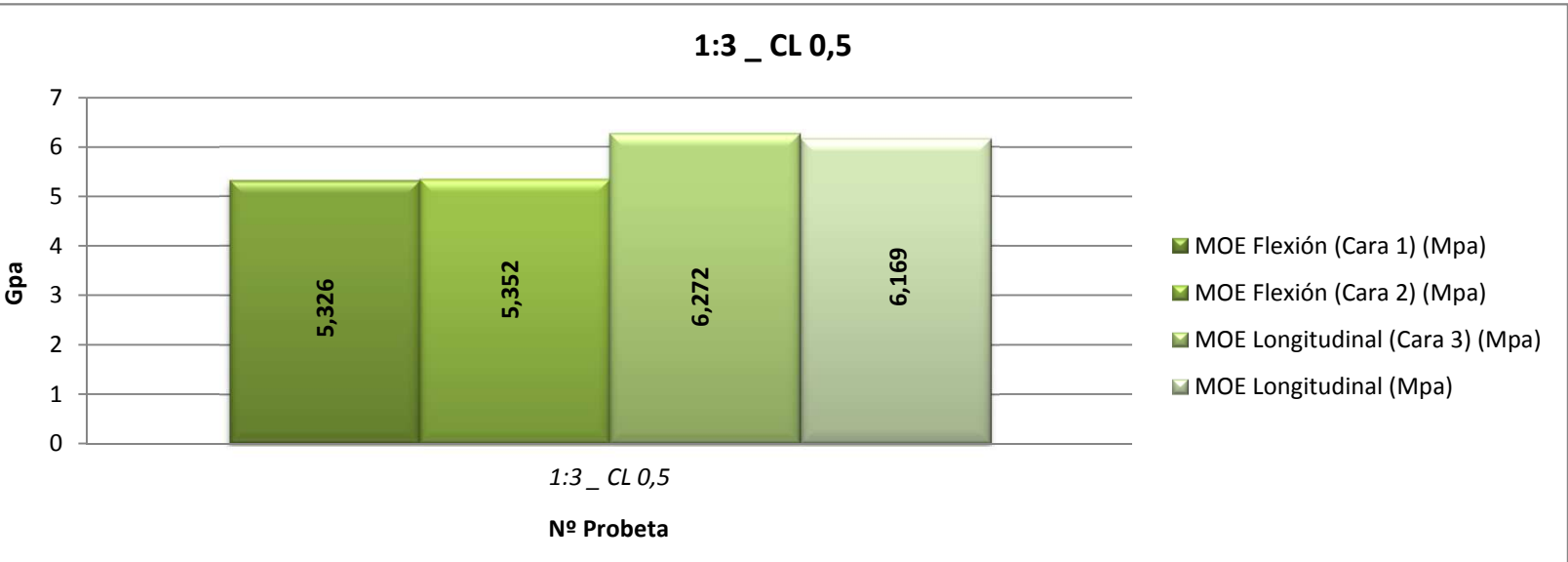
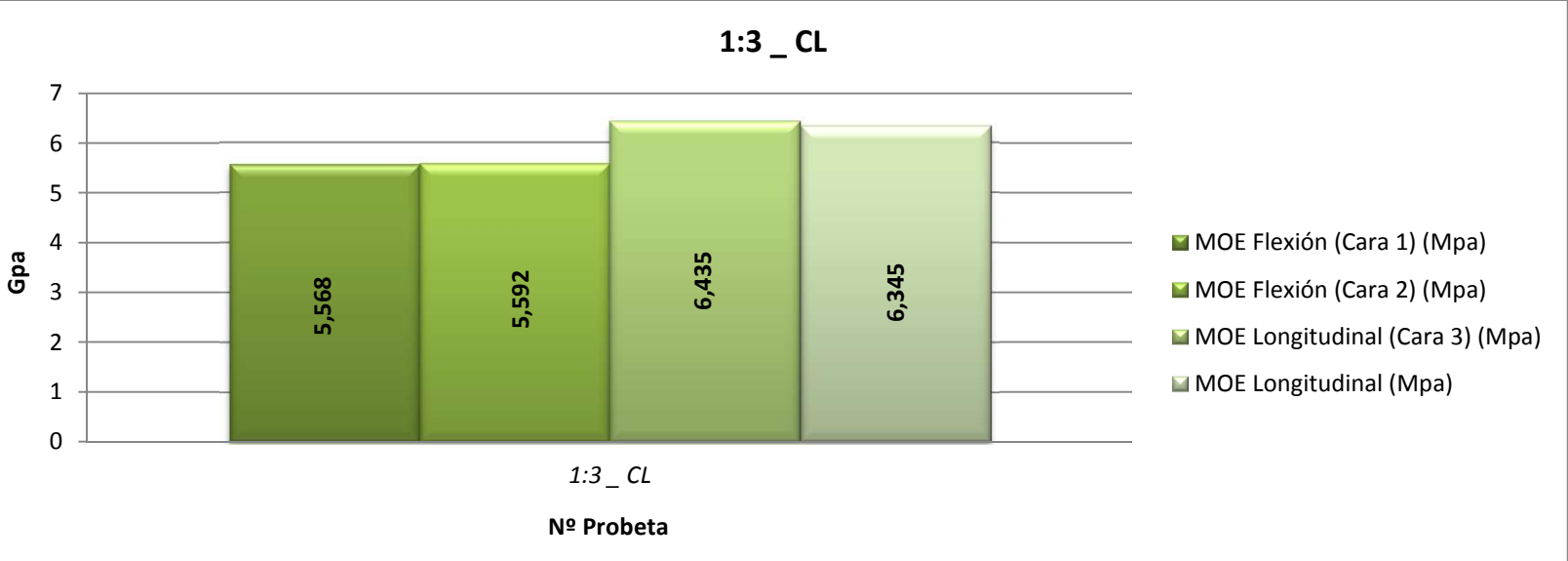
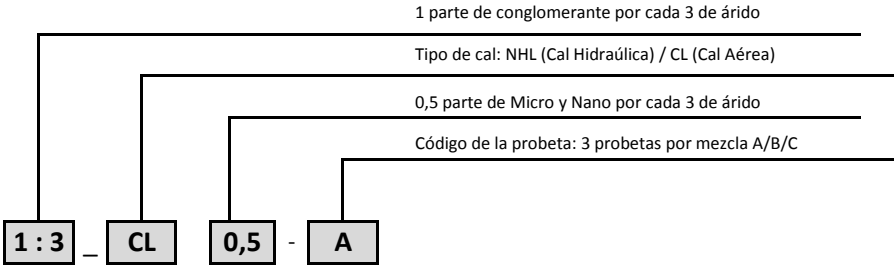
1:3 _ CL	5,568	5,592	6,435	6,345
----------	-------	-------	-------	-------

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

1:3 _ CL 0,5	5,326	5,352	6,272	6,169
--------------	-------	-------	-------	-------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

MOE FLEXIÓN (Cara 1)	MOE FLEXIÓN (Cara 2)	MOE LONGITUDINAL (Cara 3)	MOE LONGITUDINAL
Gpa	Gpa	Gpa	Gpa

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL

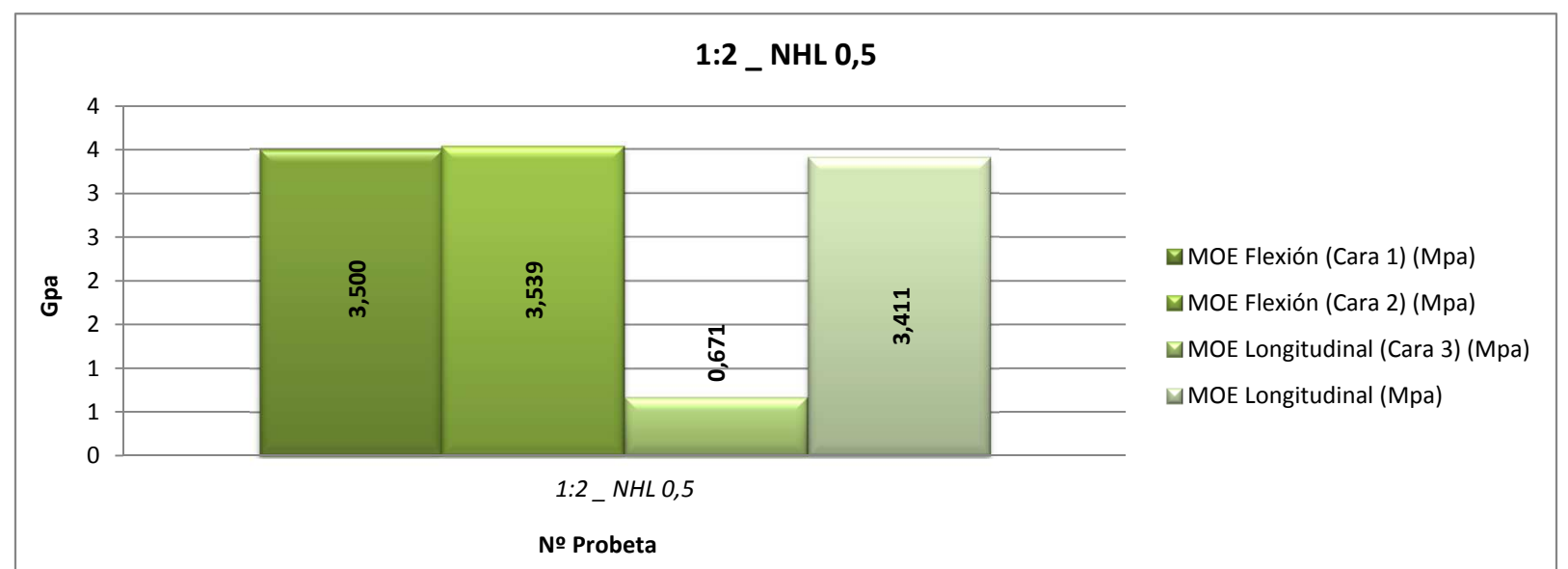
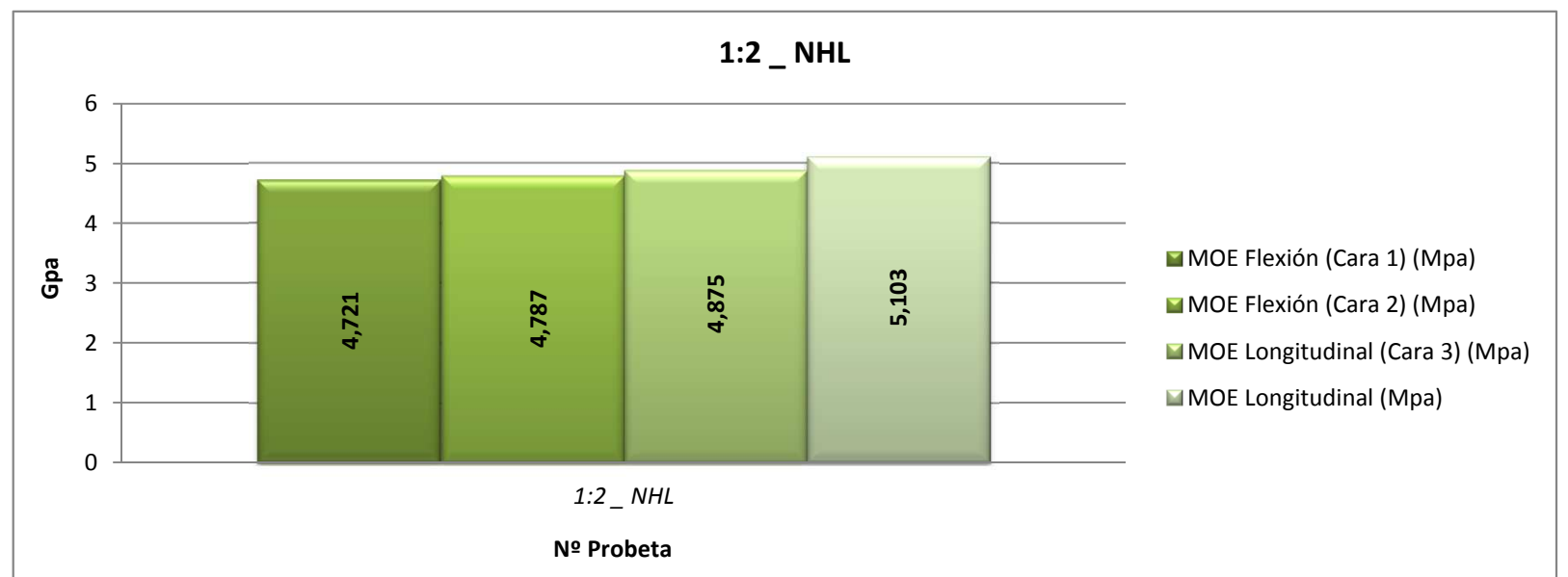
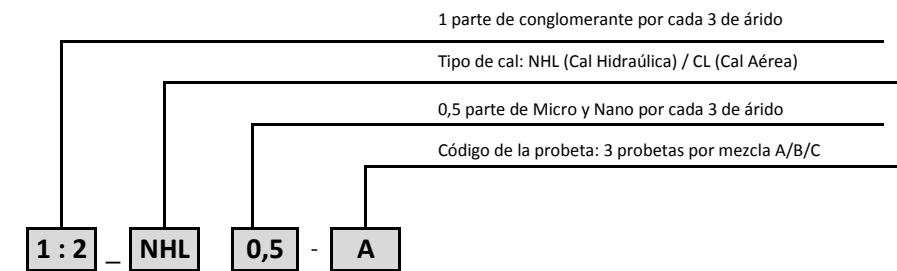
1:2 _ NHL	4,721	4,787	4,875	5,103
-----------	-------	-------	-------	-------

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

1:2 _ NHL 0,5	3,500	3,539	0,671	3,411
---------------	-------	-------	-------	-------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



7 ACTAS DE RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXOTRACCIÓN



PROCEDIMIENTO TEÓRICO

Composición de las mezclas a estudiar

1:3 _ CL (Mezcla 1):

3 Micromar + 0,70 CL - 90 S + 0,27 μ Si O₂ + 0,03 η Si O₂ + 0,82 H₂O + 0,09 Aditivo

1:3 _ CL 0,5 (Mezcla 2):

3 Micromar + 0,85 CL - 90 S + 0,135 μ Si O₂ + 0,015 η Si O₂ + 0,75 H₂O + 0,09 Aditivo

1:2 _ NHL (Mezcla 3):

2 Micromar + 0,824 NHL 3,5 Z + 0,159 μ Si O₂ + 0,017 η Si O₂ + 0,60 H₂O + 0,05 Aditivo

1:2 _ NHL 0,5 (Mezcla 4):

2 Micromar + 0,944 NHL 3,5 Z + 0,05 μ Si O₂ + 0,006 η Si O₂ + 0,55 H₂O + 0,05 Aditivo

Procedimiento de pastado

- 1.- Conociendo que la distancia entre los dos rodillos donde se apoya la probeta están a una distancia de 100 mm, primero se replantea esa distancia en cada probeta con el fin de que el pistón aplique la carga perfectamente centrada en la probeta.
- 2.- Se coloca la probeta replanteada sobre los soportes de la maquina de ensayo.
- 3.- Se baja el pistón manualmente hasta que toque con la probeta pro sin aplicar carga
- 4.- Se tara a cero el display de la máquina.
- 5.- Se comienza la prueba mediante la aplicación de carga a la probeta colocada.
- 6.- Anotamos los datos de la Carga Máxima y la Flecha Máxima al romperse la probeta.
- 7.- Las dos mitades obtenidas del ensayo se guardan para el posterior ensayo a compresión.

Norma de referencia

UNE EN 1015 - 11

Datos a obtener del ensayo

Flecha Máxima (mm)

Carga Máxima (kg)

Tensión Máxima (N/mm²)

Materiales empleados para el ensayo

Agua	
Cal	CL - 90 S (Pachs)
Cal	NHL 3,5 (St. Astier)
μ Si O ₂	Microsilíce 971 U (Elkem)
η Si O ₂	Nanosilíce 999 (Elkem)
Árido	Micromar 250 (Aymar)

Aditivo empleado en las mezclas

Aditivo Rheomix GT 250 MA (BASF)

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Imágenes del proceso



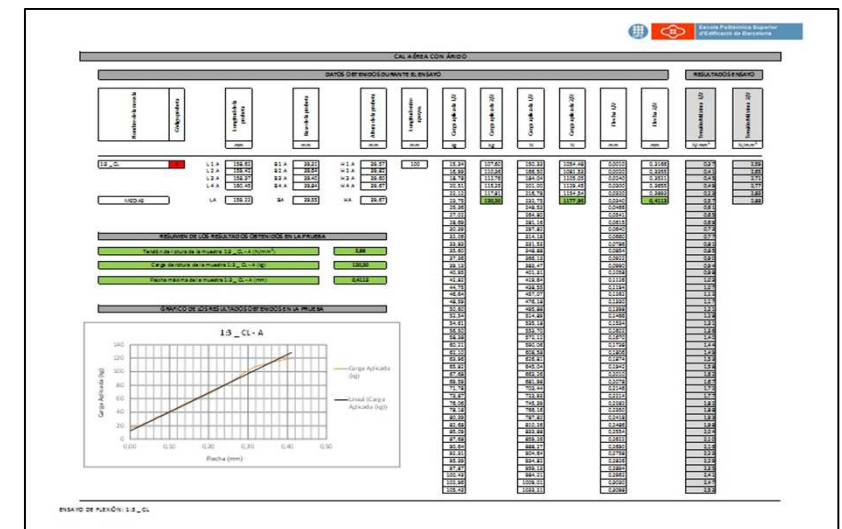
Máquina WYKEHAM FARRANCE



Display con la Carga Aplicada



Probeta rota tras el ensayo



Interpretación de los resultados obtenidos

CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla	Código probeta			Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Longitud entre apoyos	Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Flecha 1/2	Flecha 2/2	Tensión Máxima 1/2	Tensión Máxima 2/2
				mm	mm	mm	mm	kg	kg	N	N	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1:3 _ CL	A	L 1 A	158,62	B 1 A	39,31	H 1 A	39,57	100	15,34	107,60	150,33	1054,48	0,0010	0,3166	0,37
		L 2 A	159,42	B 2 A	39,64	H 2 A	39,82		16,99	110,36	166,50	1081,53	0,0020	0,3355	0,41
		L 3 A	158,37	B 3 A	39,40	H 3 A	39,60		18,78	112,76	184,04	1105,05	0,0240	0,3521	0,45
		L 4 A	160,45	B 4 A	39,84	H 4 A	39,67		20,51	115,25	201,00	1129,45	0,0300	0,3655	0,49
									22,12	117,81	216,78	1154,54	0,0320	0,3893	0,23
MEDIAS		LA	159,22	BA	39,55	HA	39,67		23,75	120,20	232,75	1177,96	0,0340	0,4113	0,57
									25,36		248,53		0,0466		0,61
									27,02		264,80		0,0541		0,65
									28,69		281,16		0,0615		0,69
									30,39		297,82		0,0640		0,73
									32,06		314,19		0,0660		0,77
									33,83		331,53		0,0786		0,81
									35,60		348,88		0,0854		0,85
									37,36		366,13		0,0922		0,90
									39,13		383,47		0,0990		0,94
									40,95		401,31		0,1058		0,98
									42,82		419,64		0,1126		1,03
									44,75		438,55		0,1194		1,07
									46,64		457,07		0,1262		1,12
									48,59		476,18		0,1330		1,17
									50,60		495,88		0,1398		1,21
									52,54		514,89		0,1466		1,28
									54,61		535,18		0,1534		1,31
									56,50		553,70		0,1602		1,36
									58,38		572,12		0,1670		1,40
									60,21		590,06		0,1738		1,44
									62,10		608,58		0,1806		1,49
									63,96		626,81		0,1874		1,53
									65,82		645,04		0,1942		1,58
									67,68		663,26		0,2010		1,62
									69,59		681,98		0,2078		1,67
									71,78		703,44		0,2146		1,72
									73,87		723,93		0,2214		1,77
									76,06		745,39		0,2282		1,82
									78,18		766,16		0,2350		1,88
									80,39		787,82		0,2418		1,93
									82,68		810,26		0,2486		1,98
									85,09		833,88		0,2554		2,04
									87,68		859,26		0,2622		2,10
									90,64		888,27		0,2690		2,16
									92,31		904,64		0,2758		2,23
									95,39		934,82		0,2826		2,29
									97,87		959,13		0,2894		2,35
									100,43		984,21		0,2962		2,41
									102,96		1009,01		0,3030		2,47
									105,43		1033,21		0,3098		2,53

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL - A (N/mm²)

2,88

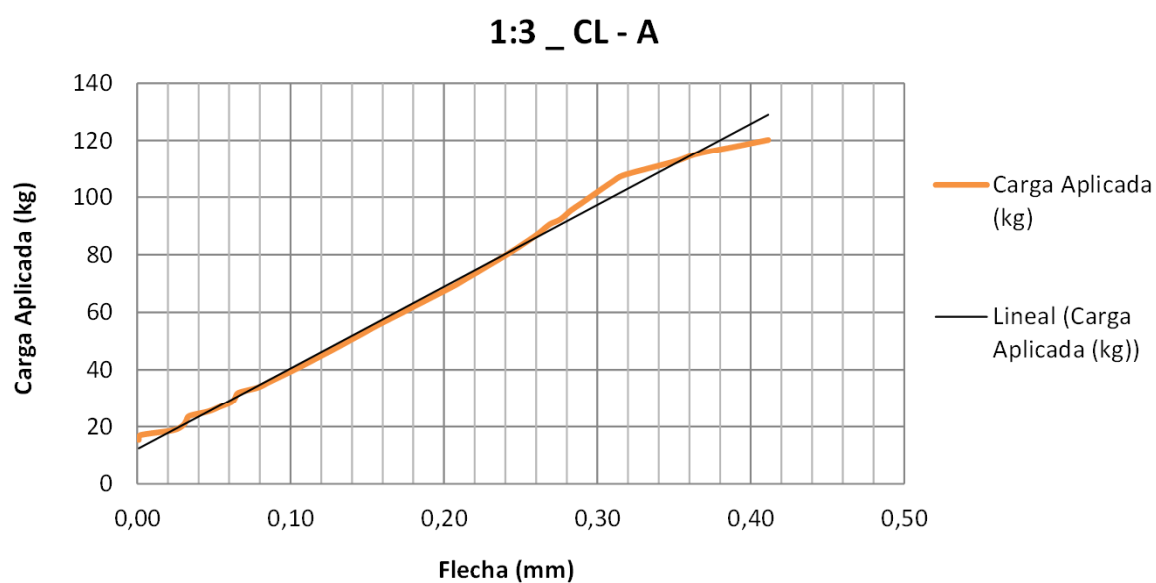
Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL - A (kg)

120,20

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL - A (mm)

0,4113

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Flecha 1/2	Flecha 2/2	Tensión Máxima 1/2	Tensión Máxima 2/2
			mm		mm		mm		mm		kg	kg	N	N	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1:3 _ CL		B	L 1 B	157,92	B 1 B	39,25	H 1 B	38,97	100		15,34	107,60	150,33	1054,48	0,0011	0,2870	0,37	2,59
			L 2 B	160,12	B 2 B	38,94	H 2 B	39,92			16,99	110,36	166,50	1081,53	0,0021	0,2910	0,41	2,65
			L 3 B	159,75	B 3 B	40,10	H 3 B	40,20			18,78	112,76	184,04	1105,05	0,0031	0,2941	0,45	2,71
			L 4 B	159,25	B 4 B	39,80	H 4 B	39,37			20,51	115,25	201,00	1129,45	0,0280	0,3021	0,49	2,77
											22,12	117,81	216,78	1154,54	0,0380	0,3071	0,23	2,83
MEDIAS			LB	159,26	BB	39,52	HB	39,62			23,75	120,20	232,75	1177,96	0,0450	0,3121	0,57	2,88
											25,36	122,62	248,53	1201,68	0,0560	0,3181	0,61	2,94
											27,02	125,01	264,80	1225,10	0,0620	0,3238	0,65	3,00
											28,69	127,45	281,16	1249,01	0,0691	0,3295	0,69	3,06
											30,39	129,70	297,82	1271,06	0,0770	0,3352	0,73	3,12
											32,06	131,85	314,19	1292,13	0,0830	0,3409	0,77	3,17
											33,83	133,80	331,53	1311,24	0,0880	0,3461	0,81	3,23
											35,60	136,27	348,88	1335,47	0,0930	0,3523	0,85	3,29
											37,36	138,52	366,13	1357,49	0,0991	0,3580	0,90	3,35
											39,13	140,77	383,47	1379,52	0,1051	0,3631	0,94	3,41
											40,95	143,02	401,31	1401,55	0,1081	0,3694	0,98	3,46
											42,82	145,26	419,64	1423,58	0,1171	0,3751	1,03	3,52
											44,75	147,51	438,55	1445,60	0,1221	0,3808	1,07	3,58
											46,64	149,76	457,07	1467,63	0,1300	0,3865	1,12	3,64
											48,59	151,11	476,18	1480,88	0,1410	0,3920	1,17	3,70
											50,60		495,88		0,1460		1,21	
											52,54		514,89		0,1530		1,28	
											54,61		535,18		0,1590		1,31	
											56,50		553,70		0,1640		1,36	
											58,38		572,12		0,1681		1,40	
											60,21		590,06		0,1741		1,44	
											62,10		608,58		0,1821		1,49	
											63,96		626,81		0,1871		1,53	
											65,82		645,04		0,1921		1,58	
											67,68		663,26		0,1981		1,62	
											69,59		681,98		0,2010		1,67	
											71,78		703,44		0,2060		1,72	
											73,87		723,93		0,2120		1,77	
											76,06		745,39		0,2180		1,82	
											78,18		766,16		0,2240		1,88	
											80,39		787,82		0,2280		1,93	
											82,68		810,26		0,2330		1,98	
											85,09		833,88		0,2390		2,04	
											87,68		859,26		0,2430		2,10	
											90,64		888,27		0,2510		2,16	
											92,31		904,64		0,2610		2,23	
											95,39		934,82		0,2630		2,29	
											97,87		959,13		0,2661		2,35	
											100,43		984,21		0,2720		2,41	
											102,96		1009,01		0,2750		2,47	
											105,43		1033,21		0,2801		2,53	

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL - B (N/mm²)

3,70

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL - B (kg)

151,11

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL - B (mm)

0,3920

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

1:3 _ CL - B

Carga Aplicada (kg)

Lineal (Carga Aplicada (kg))

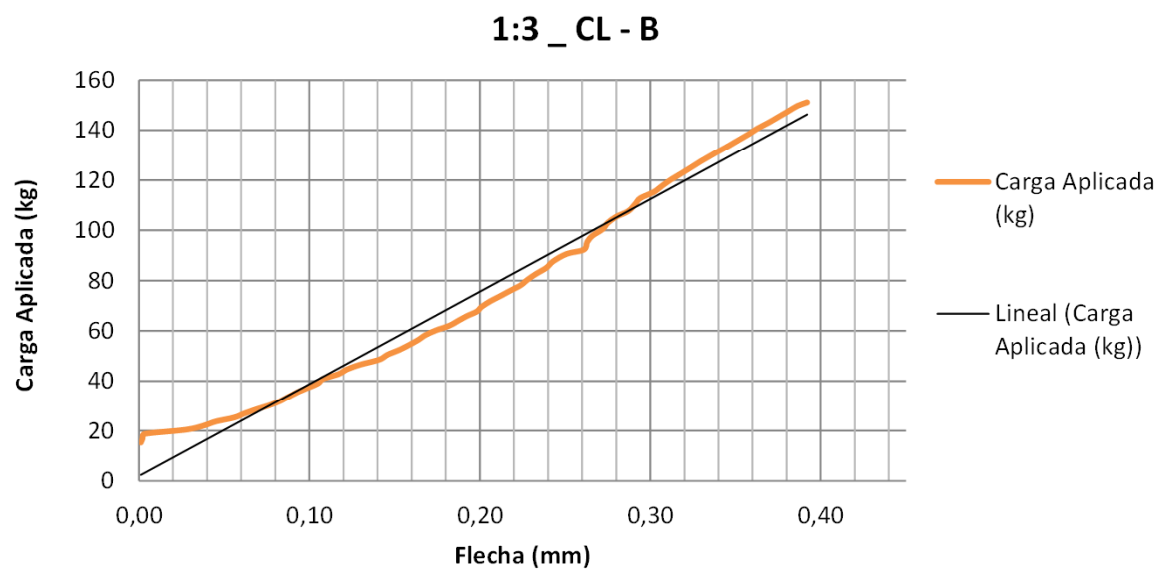
RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL - B (N/mm²) 3,70

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL - B (kg) 151,11

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL - B (mm) 0,3920

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO														RESULTADOS ENSAYO		
Nombre de la mezcla		Código probeta			Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Longitud entre apoyos	Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Flecha 1/2	Flecha 2/2	Tensión Máxima 1/2	Tensión Máxima 2/2
			mm	mm	mm	mm	kg	kg	N	N	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²		
1:3 _ CL	C	L 1 C	158,62	B 1 C	39,32	H 1 C	39,16	100	15,34	107,60	150,33	1054,48	0,0010	0,2451	0,37	2,59
		L 2 C	159,32	B 2 C	39,04	H 2 C	38,96		16,99	110,36	166,50	1081,53	0,0015	0,2511	0,41	2,65
		L 3 C	158,63	B 3 C	39,91	H 3 C	39,93		18,78	112,76	184,04	1105,05	0,0023	0,2591	0,45	2,71
		L 4 C	160,25	B 4 C	39,86	H 4 C	40,64		20,51	115,25	201,00	1129,45	0,0271	0,2640	0,49	2,77
MEDIAS		LC	159,21	BC	39,53	HC	39,67		22,12	117,81	216,78	1154,54	0,0311	0,2680	0,23	2,83
									23,75	120,20	232,75	1177,96	0,0361	0,2781	0,57	2,88
									25,36	122,62	248,53	1201,68	0,0410	0,2840	0,61	2,94
									27,02	125,01	264,80	1225,10	0,0461	0,2899	0,65	3,00
									28,69	127,45	281,16	1249,01	0,0510	0,2964	0,69	3,06
									30,39	129,70	297,82	1271,06	0,0560	0,3028	0,73	3,12
									32,06	131,85	314,19	1292,13	0,0610	0,3093	0,77	3,17
									33,83	133,80	331,53	1311,24	0,0660	0,3158	0,81	3,23
									35,60	136,27	348,88	1335,47	0,0710	0,3222	0,85	3,29
									37,36	138,52	366,13	1357,49	0,0760	0,3287	0,90	3,35
									39,13	140,77	383,47	1379,52	0,0811	0,3351	0,94	3,41
									40,95	143,02	401,31	1401,55	0,0861	0,3416	0,98	3,46
									42,82	145,26	419,64	1423,58	0,0911	0,3480	1,03	3,52
									44,75	147,51	438,55	1445,60	0,0961	0,3545	1,07	3,58
									46,64	149,76	457,07	1467,63	0,1011	0,3610	1,12	3,64
									48,59	151,11	476,18	1480,88	0,1100	0,3674	1,17	3,70
									50,60	154,37	495,88	1512,86	0,1111	0,3739	1,21	3,75
									52,54	156,66	514,89	1535,25	0,1160	0,3803	1,28	3,81
									54,61	158,94	535,18	1557,64	0,1210	0,3868	1,31	3,87
									56,50	161,23	553,70	1580,03	0,1260	0,3932	1,36	3,93
									58,38	163,51	572,12	1602,42	0,1310	0,3997	1,40	3,99
									60,21	165,06	590,06	1617,59	0,1361	0,4062	1,44	4,04
									62,10		608,58		0,1411		1,49	
									63,96		626,81		0,1461		1,53	
									65,82		645,04		0,1511		1,58	
									67,68		663,26		0,1560		1,62	
									69,59		681,98		0,1610		1,67	
									71,78		703,44		0,1660		1,72	
									73,87		723,93		0,1711		1,77	
									76,06		745,39		0,1761		1,82	
									78,18		766,16		0,1811		1,88	
									80,39		787,82		0,1860		1,93	
									82,68		810,26		0,1910		1,98	
									85,09		833,88		0,1961		2,04	
									87,68		859,26		0,2011		2,10	
									90,64		888,27		0,2060		2,16	
									92,31		904,64		0,2110		2,23	
									95,39		934,82		0,2160		2,29	
									97,87		959,13		0,2210		2,35	
									100,43		984,21		0,2260		2,41	
									102,96		1009,01		0,2311		2,47	
									105,43		1033,21		0,2361		2,53	

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL - C (N/mm²)

4,04

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL - C (kg)

165,06

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL - C (mm)

0,4062

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

1:3 _ CL - C



CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO														RESULTADOS ENSAYO											
Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada 1/2		Carga aplicada 2/2		Flecha 1/2		Flecha 2/2		Tensión Máxima 1/2		Tensión Máxima 2/2				
			mm		mm		mm		mm		kg		kg		N		N		mm		mm		N/mm ²		N/mm ²
1:3 _ CL 0,5		A	L 1 A	159,62	B 1 A	38,57	H 1 A	38,91	100		15,34	107,60	150,33	1054,48	0,001	0,287	0,37	2,59							
			L 2 A	158,58	B 2 A	39,44	H 2 A	39,94			16,99	110,36	166,50	1081,53	0,002	0,290	0,41	2,65							
			L 3 A	159,22	B 3 A	39,94	H 3 A	40,21			18,78	112,76	184,04	1105,05	0,003	0,294	0,45	2,71							
			L 4 A	159,85	B 4 A	40,27	H 4 A	39,43			20,51	115,25	201,00	1129,45	0,028	0,302	0,49	2,77							
											22,12	117,81	216,78	1154,54	0,038	0,307	0,23	2,83							
											23,75	120,20	232,75	1177,96	0,045	0,312	0,57	2,88							
											25,36	122,70	248,53	1202,41	0,056	0,318	0,61	2,94							
											27,02	125,17	264,80	1226,65	0,062	0,324	0,65	3,00							
											28,69	127,64	281,16	1250,88	0,069	0,330	0,69	3,06							
											30,39	130,11	297,82	1275,12	0,077	0,335	0,73	3,12							
											32,06	132,59	314,19	1299,35	0,083	0,341	0,77	3,17							
											33,83	135,06	331,53	1323,59	0,088	0,347	0,81	3,23							
											35,60	137,53	348,88	1347,82	0,093	0,352	0,85	3,29							
											37,36	140,01	366,13	1372,06	0,099	0,358	0,90	3,35							
											39,13	142,48	383,47	1396,29	0,105	0,364	0,94	3,41							
											40,95	144,95	401,31	1420,53	0,108	0,369	0,98	3,46							
											42,82	147,43	419,64	1444,77	0,117	0,375	1,03	3,52							
											44,75	149,90	438,55	1469,00	0,122	0,381	1,07	3,58							
											46,64	152,37	457,07	1493,24	0,130	0,387	1,12	3,64							
											48,59	154,84	476,18	1517,47	0,141	0,392	1,17	3,70							
											50,60	157,32	495,88	1541,71	0,146	0,398	1,21	3,75							
											52,54	159,79	514,89	1565,94	0,153	0,404	1,28	3,81							
											54,61	162,26	535,18	1590,18	0,159	0,409	1,31	3,87							
											56,50	164,74	553,70	1614,41	0,164	0,415	1,36	3,93							
											58,38	167,21	572,12	1638,65	0,168	0,421	1,40	3,99							
											60,21	169,68	590,06	1662,88	0,174	0,426	1,44	4,04							
											62,10	172,16	608,58	1687,12	0,182	0,432	1,49	4,10							
											63,96	174,63	626,81	1711,35	0,187	0,438	1,53	4,16							
											65,82	177,10	645,04	1735,59	0,192	0,444	1,58	4,22							
											67,68	179,57	663,26	1759,83	0,198	0,449	1,62	4,28							
											69,59	182,05	681,98	1784,06	0,201	0,455	1,67	4,33							
											71,78	184,52	703,44	1808,30	0,206	0,461	1,72	4,39							
											73,87	186,99	723,93	1832,53	0,212	0,466	1,77	4,45							
											76,06	189,47	745,39	1856,77	0,218	0,472	1,82	4,51							
											78,18		766,16		0,224		1,88								
											80,39		787,82		0,228		1,93								
											82,68		810,26		0,233		1,98								
											85,09		833,88		0,239		2,04								
											87,68		859,26		0,243		2,10								
											90,64		888,27		0,251		2,16								
											92,31		904,64		0,260		2,23								
											95,39		934,82		0,263		2,29								
											97,87		959,13		0,266		2,35								
											100,43		984,21		0,272		2,41								
											102,96		1009,01		0,275		2,47								
											105,43		1033,21		0,282		2,53								

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - A (N/mm²)

4,51

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - A (kg)

189,47

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - A (mm)

0,472

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

1:3 _ CL 0,5 - A

Carga Aplicada (kg)

Lineal (Carga Aplicada (kg))

CAL ÀREA CON ÀRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta		Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada 1/2		Carga aplicada 2/2		Carga aplicada 1/2		Carga aplicada 2/2		Flecha 1/2		Flecha 2/2		Tensión Máxima 1/2		Tensión Máxima 2/2	
				mm		mm		mm		mm		kg		kg		N		N		mm		mm		N/mm ²		N/mm ²	
1:3 _ CL 0,5		B		L 1 B	159,31	B 1 B	40,03	H 1 B	39,34	100		15,34		107,60		150,33		1054,48		0,0010		0,4069		0,37		2,59	
				L 2 B	159,67	B 2 B	38,82	H 2 B	40,15			16,99		108,36		166,50		1061,93		0,0020		0,4078		0,41		2,65	
				L 3 B	158,36	B 3 B	40,07	H 3 B	39,86			18,78		109,76		184,04		1075,65		0,0030		0,4098		0,45		2,71	
				L 4 B	159,65	B 4 B	39,29	H 4 B	39,20			20,51		111,25		201,00		1090,25		0,0280		0,4119		0,49		2,77	
												22,12		114,81		216,78		1125,14		0,0380		0,4132		0,23		2,83	
												23,75		117,20		232,75		1148,56		0,0450		0,4153		0,57		2,88	
												25,36		120,62		248,53		1182,08		0,0560		0,4171		0,61		2,94	
												27,02		125,01		264,80		1225,10		0,0600		0,4189		0,65		3,00	
												28,69		127,45		281,16		1249,01		0,0670		0,4207		0,69		3,06	
												30,39		129,70		297,82		1271,06		0,0720		0,4226		0,73		3,12	
												32,06		131,85		314,19		1292,13		0,0862		0,4244		0,77		3,17	
												33,83		133,80		331,53		1311,24		0,0951		0,4262		0,81		3,23	
												35,60		136,27		348,88		1335,47		0,1040		0,4281		0,85		3,29	
												37,36		138,52		366,13		1357,49		0,1129		0,4299		0,90		3,35	
												39,13		140,77		383,47		1379,52		0,1218		0,4317		0,94		3,41	
												40,95		143,02		401,31		1401,55		0,1307		0,4336		0,98		3,46	
												42,82		145,26		419,64		1423,58		0,1397		0,4354		1,03		3,52	
												44,75		147,51		438,55		1445,60		0,1486		0,4372		1,07		3,58	
												46,64		149,76		457,07		1467,63		0,1575		0,4390		1,12		3,64	
												48,59		151,11		476,18		1480,88		0,1664		0,4409		1,17		3,70	
												50,60		154,37		495,88		1512,86		0,1753		0,4427		1,21		3,75	
												52,54		156,66		514,89		1535,25		0,1842		0,4445		1,28		3,81	
												54,61		158,94		535,18		1557,64		0,1931		0,4464		1,31		3,87	
												56,50		161,23		553,70		1580,03		0,2020		0,4482		1,36		3,93	
												58,38		163,51		572,12		1602,42		0,2109		0,4500		1,40		3,99	
												60,21		165,80		590,06		1624,81		0,2198		0,4519		1,44		4,04	
												62,10		168,08		608,58		1647,19		0,2287		0,4537		1,49		4,10	
												63,96		170,37		626,81		1669,58		0,2377		0,4555		1,53		4,16	
												65,82		172,65		645,04		1691,97		0,2466		0,4573		1,58		4,22	
												67,68		174,93		663,26		1714,36		0,2555		0,4592		1,62		4,28	
												69,59		176,11		681,98		1725,88		0,2644		0,4610		1,67		4,33	
												71,78				681,98		1725,88		0,2644		0,4610		1,67		4,33	
												73,87				703,44		1725,88		0,2733				1,72			
												76,06				723,93		1725,88		0,2822				1,77			
												78,18				745,39		1725,88		0,2911				1,82			
												80,39				766,16		1725,88		0,3000				1,88			
												82,68				787,82		1725,88		0,3089				1,93			
												85,09				810,26		1725,88		0,3178				1,98			
												87,68				833,88		1725,88		0,3267				2,04			
												90,64				859,26		1725,88		0,3357				2,10			
												92,31				888,27		1725,88		0,3446				2,16			
												95,39				904,64		1725,88		0,3535				2,23			
												97,87				934,82		1725,88		0,3624				2,29			
												100,43				959,13		1725,88		0,3713				2,35			
												102,96				984,21		1725,88		0,3802				2,41			
												105,43				1009,01		1725,88		0,3891				2,47			
												108,90				1033,21		1725,88		0,3980				2,53			
MEDIAS				LB	159,25	BB	39,55	HB	39,64																		

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5- B (N/mm²)

4,33

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - B (kg)

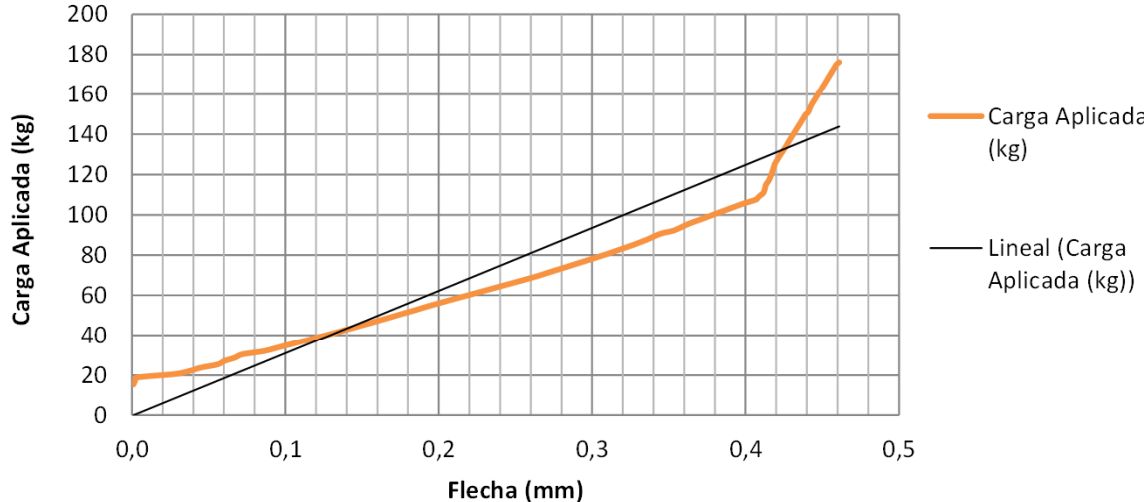
176,11

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - B (mm)

0,4610

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

1:3 _ CL 0,5 - B



CAL AÉREA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Carga aplicada 1/2	Carga aplicada 2/2	Flecha 1/2	Flecha 2/2	Tensión Máxima 1/2	Tensión Máxima 2/2
			mm		mm		mm		mm		kg	kg	N	N	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
1:3 _ CL 0,5		C	L 1 C	159,62	B 1 C	39,22	H 1 C	39,45	100	15,34	107,60	150,33	1054,48	0,0010	0,3759	0,37	2,59	
			L 2 C	159,31	B 2 C	39,51	H 2 C	38,91		16,99	110,36	166,50	1081,53	0,0020	0,3795	0,41	2,65	
			L 3 C	158,93	B 3 C	39,64	H 3 C	40,21		18,78	112,76	184,04	1105,05	0,0030	0,3803	0,45	2,71	
			L 4 C	159,53	B 4 C	39,71	H 4 C	39,84		20,51	115,25	201,00	1129,45	0,0271	0,3845	0,49	2,77	
										22,12	117,81	216,78	1154,54	0,0342	0,3864	0,23	2,83	
										23,75	120,20	232,75	1177,96	0,0409	0,3889	0,57	2,88	
										25,36	122,62	248,53	1201,68	0,0501	0,3914	0,61	2,94	
										27,02	125,01	264,80	1225,10	0,0542	0,3939	0,65	3,00	
										28,69	127,45	281,16	1249,01	0,0584	0,3964	0,69	3,06	
										30,39	129,70	297,82	1271,06	0,0713	0,3989	0,73	3,12	
										32,06	131,85	314,19	1292,13	0,0795	0,4014	0,77	3,17	
										33,83	133,80	331,53	1311,24	0,0877	0,4039	0,81	3,23	
										35,60	136,27	348,88	1335,47	0,0960	0,4064	0,85	3,29	
										37,36	138,52	366,13	1357,49	0,1042	0,4089	0,90	3,35	
										39,13	140,77	383,47	1379,52	0,1124	0,4114	0,94	3,41	
										40,95	143,02	401,31	1401,55	0,1207	0,4139	0,98	3,46	
										42,82	145,26	419,64	1423,58	0,1289	0,4164	1,03	3,52	
										44,75	147,51	438,55	1445,60	0,1371	0,4189	1,07	3,58	
										46,64	149,76	457,07	1467,63	0,1454	0,4214	1,12	3,64	
										48,59	151,11	476,18	1480,88	0,1536	0,4239	1,17	3,70	
										50,60	154,37	495,88	1512,86	0,1618	0,4264	1,21	3,75	
										52,54	156,66	514,89	1535,25	0,1701	0,4289	1,28	3,81	
										54,61	158,94	535,18	1557,64	0,1783	0,4314	1,31	3,87	
										56,50	161,23	553,70	1580,03	0,1865	0,4339	1,36	3,93	
										58,38	163,51	572,12	1602,42	0,1948	0,4364	1,40	3,99	
										60,21	165,06	590,06	1617,59	0,2030	0,4389	1,44	4,04	
										62,10	167,96	608,58	1646,04	0,2112	0,4414	1,49	4,10	
										63,96	170,24	626,81	1668,36	0,2195	0,4439	1,53	4,16	
										65,82	172,52	645,04	1690,68	0,2277	0,4464	1,58	4,22	
										67,68	174,80	663,26	1713,01	0,2359	0,4489	1,62	4,28	
										69,59	177,07	681,98	1735,33	0,2442	0,4514	1,67	4,33	
										71,78	179,35	703,44	1757,65	0,2524	0,4539	1,72	4,39	
										73,87	181,63	723,93	1779,97	0,2606	0,4564	1,77	4,45	
										76,06	183,32	745,39	1796,54	0,2689	0,4589	1,82	4,51	
										78,18		766,16		0,2771		1,88		
										80,39		787,82		0,2853		1,93		
										82,68		810,26		0,2936		1,98		
										85,09		833,88		0,3018		2,04		
										87,68		859,26		0,3100		2,10		
										90,64		888,27		0,3183		2,16		
										92,31		904,64		0,3265		2,23		
										95,39		934,82		0,3347		2,29		
										97,87		959,13		0,3430		2,35		
										100,43		984,21		0,3512		2,41		
										102,96		1009,01		0,3594		2,47		
										105,43		1033,21		0,3677		2,53		

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - C (N/mm²)

4,51

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - C (kg)

183,32

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - C (mm)

0,4589

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

1:3 _ CL 0,5 - C

Carga Aplicada (kg)

— Lineal (Carga Aplicada (kg))

0,00

0,10

0,20

0,30

0,40

0,50

0

20

40

60

80

100

120

140

160

180

200

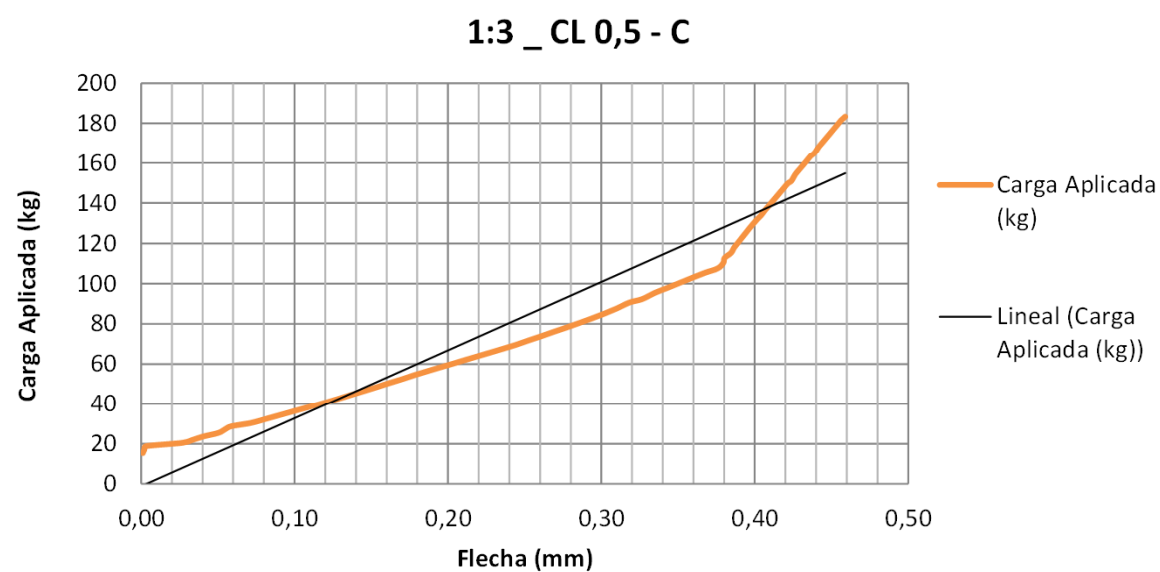
RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - C (N/mm²) 4,51

Carga de rotura de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - C (kg) 183,32

Flecha máxima de la muestra 1:3 _ CL 0,5 - C (mm) 0,4589

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

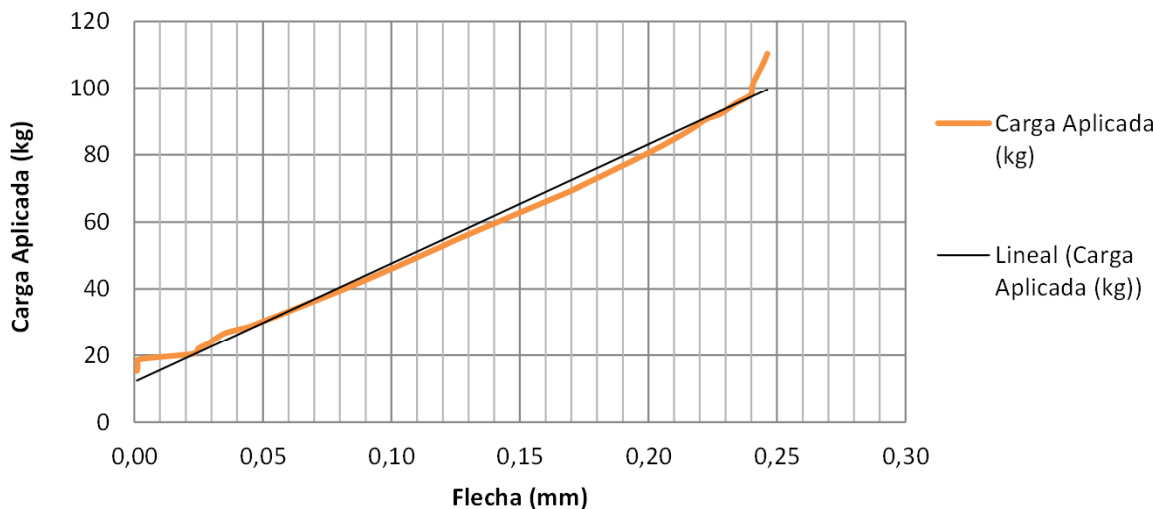
DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO												RESULTADOS ENSAYO														
Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada 1/2		Carga aplicada 2/2		Carga aplicada 1/2		Carga aplicada 2/2		Flecha 1/2		Flecha 2/2		Tensión Máxima 1/2		Tensión Máxima 2/2	
			mm		mm		mm		mm		kg		kg		N		N		mm		mm		N/mm ²		N/mm ²	
1:2 _ NHL		A	L 1 A	158,82	B 1 A	38,47	H 1 A	40,20	100	15,34	107,60	150,33	1054,48	0,0010	0,24473	0,37	2,59									
			L 2 A	158,58	B 2 A	40,11	H 2 A	39,94		16,99	110,36	166,50	1081,53	0,0013	0,24623	0,41	2,65									
			L 3 A	160,12	B 3 A	39,72	H 3 A	38,94		18,78		184,04		0,0017		0,45										
			L 4 A	159,65	B 4 A	39,84	H 4 A	39,43		20,51		201,00		0,0230		0,49										
										22,12		216,78		0,0250		0,23										
MEDIAS			LA	159,29	BA	39,54	HA	39,63		23,75		232,75		0,0290		0,57										
										25,36		248,53		0,0320		0,61										
										27,02		264,80		0,0360		0,65										
										28,69		281,16		0,0445		0,69										
										30,39		297,82		0,0502		0,73										
										32,06		314,19		0,0560		0,77										
										33,83		331,53		0,0617		0,81										
										35,60		348,88		0,0674		0,85										
										37,36		366,13		0,0732		0,90										
										39,13		383,47		0,0789		0,94										
										40,95		401,31		0,0847		0,98										
										42,82		419,64		0,0904		1,03										
										44,75		438,55		0,0962		1,07										
										46,64		457,07		0,1019		1,12										
										48,59		476,18		0,1076		1,17										
										50,60		495,88		0,1134		1,21										
										52,54		514,89		0,1191		1,28										
										54,61		535,18		0,1249		1,31										
										56,50		553,70		0,1306		1,36										
										58,38		572,12		0,1364		1,40										
										60,21		590,06		0,1421		1,44										
										62,10		608,58		0,1478		1,49										
										63,96		626,81		0,1536		1,53										
										65,82		645,04		0,1593		1,58										
										67,68		663,26		0,1651		1,62										
										69,59		681,98		0,1708		1,67										
										71,78		703,44		0,1766		1,72										
										73,87		723,93		0,1823		1,77										
										76,06		745,39		0,1880		1,82										
										78,18		766,16		0,1938		1,88										
										80,39		787,82		0,1995		1,93										
										82,68		810,26		0,2053		1,98										
										85,09		833,88		0,2110		2,04										
										87,68		859,26		0,2168		2,10										
										90,64		888,27		0,2225		2,16										
										92,31		904,64		0,2282		2,23										
										95,39		934,82		0,2340		2,29										
										97,87		959,13		0,2397		2,35										
										100,43		984,21		0,2403		2,41										
										102,96		1009,01		0,2416		2,47										
										105,43		1033,21		0,2433		2,53										

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

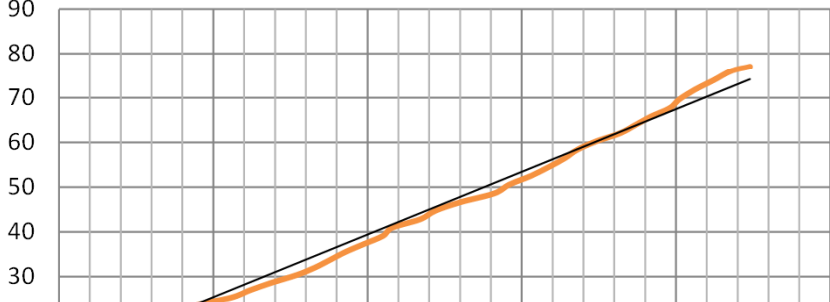
Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - A (N/mm ²)	2,65
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - A (kg)	110,36
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - A (mm)	0,2462

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

1:2 _ NHL - A



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO										RESULTADOS ENSAYO								
Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada		Carga aplicada		Flecha		Tensión Máxima	
			mm		mm		mm		mm		kg		N		mm		N/mm ²	
1:2 _ NHL		B	L 1 B	158,62	B 1 B	39,31	H 1 B	39,57	100		15,34	150,33	0,001	0,37				
			L 2 B	159,42	B 2 B	39,64	H 2 B	39,82			16,99	166,50	0,002	0,41				
			L 3 B	158,37	B 3 B	39,40	H 3 B	39,60			18,78	184,04	0,003	0,45				
			L 4 B	160,45	B 4 B	39,84	H 4 B	39,67			20,51	201,00	0,028	0,49				
											22,12	216,78	0,038	0,23				
MEDIAS			LB	159,22	BB	39,55	HB	39,67			23,75	232,75	0,045	0,57				
											25,36	248,53	0,056	0,61				
											27,02	264,80	0,062	0,65				
											28,69	281,16	0,069	0,69				
											30,39	297,82	0,077	0,73				
											32,06	314,19	0,083	0,77				
											33,83	331,53	0,088	0,81				
											35,60	348,88	0,093	0,85				
											37,36	366,13	0,099	0,90				
											39,13	383,47	0,105	0,94				
											40,95	401,31	0,108	0,98				
											42,82	419,64	0,117	1,03				
											44,75	438,55	0,122	1,07				
											46,64	457,07	0,130	1,12				
											48,59	476,18	0,141	1,17				
											50,60	495,88	0,146	1,21				
											52,54	514,89	0,153	1,28				
											54,61	535,18	0,159	1,31				
											56,50	553,70	0,164	1,36				
											58,38	572,12	0,168	1,40				
											60,21	590,06	0,174	1,44				
											62,10	608,58	0,182	1,49				
											63,96	626,81	0,187	1,53				
											65,82	645,04	0,192	1,58				
											67,68	663,26	0,198	1,62				
											69,59	681,98	0,201	1,67				
											71,78	703,44	0,206	1,72				
											73,87	723,93	0,212	1,77				
											76,06	745,39	0,218	1,82				
											77,06	755,19	0,224	1,88				
RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA																		
Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - B (N/mm ²)																		
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - B (kg)																		
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - B (mm)																		
GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA																		
1:2 _ NHL - B																		
																		
Carga Aplicada (kg)																		
Lineal (Carga Aplicada (kg))																		

CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO										RESULTADOS ENSAYO					
Nombre de la mezcla		Código probeta				Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Longitud entre apoyos	Carga aplicada	Carga aplicada	Flecha	Tensión Máxima		
			mm	mm	mm	mm	kg	N	mm	N/mm ²					
1:2 _ NHL	C 1	L 1 C1	159,62	B 1 C1	39,22	H 1 C1	39,45	100	15,34	150,33	0,0010				
		L 2 C1	159,31	B 2 C1	39,51	H 2 C1	38,91		16,99	166,50	0,0014				
		L 3 C1	158,93	B 3 C1	39,64	H 3 C1	40,21		18,78	184,04	0,0206				
		L 4 C1	159,53	B 4 C1	39,71	H 4 C1	39,84		20,51	201,00	0,0258				
MEDIAS		L C1	159,35	B C1	39,52	H C1	39,60	22,12	216,78	0,0310					
												23,75	232,75	0,0362	
												25,36	248,53	0,0415	
												27,02	264,80	0,0467	
												28,69	281,16	0,0519	
												30,39	297,82	0,0572	
												32,06	314,19	0,0624	
												33,83	331,53	0,0676	
												35,60	348,88	0,0728	
												37,36	366,13	0,0781	
												39,13	383,47	0,0833	
												40,95	401,31	0,0885	
												42,82	419,64	0,0938	
												44,75	438,55	0,0990	
												46,64	457,07	0,1042	
												48,59	476,18	0,1094	
												50,60	495,88	0,1147	
												52,54	514,89	0,1199	
												54,61	535,18	0,1251	
												56,50	553,70	0,1304	
												58,38	572,12	0,1356	
												60,21	590,06	0,1408	
												62,10	608,58	0,1460	
												63,96	626,81	0,1513	
												65,82	645,04	0,1565	
												67,68	663,26	0,1617	
												69,59	681,98	0,1670	
												71,78	703,44	0,1722	
												73,87	723,93	0,1774	
												76,06	745,39	0,1826	
												78,18	766,16	0,1879	
												80,39	787,82	0,1931	
												82,68	810,26	0,1983	
												85,09	833,88	0,2036	
												87,68	859,26	0,2088	
												90,64	888,27	0,2140	
												92,31	904,64	0,2192	
												95,39	934,82	0,2245	
												97,87	959,13	0,2297	
												100,43	984,21	0,2349	
												102,96	1009,01	0,2402	
												105,43	1033,21	0,2454	

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C1 (N/mm²)

2,53

Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C1 (kg)

105,43

Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - C1 (mm)

0,2454

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

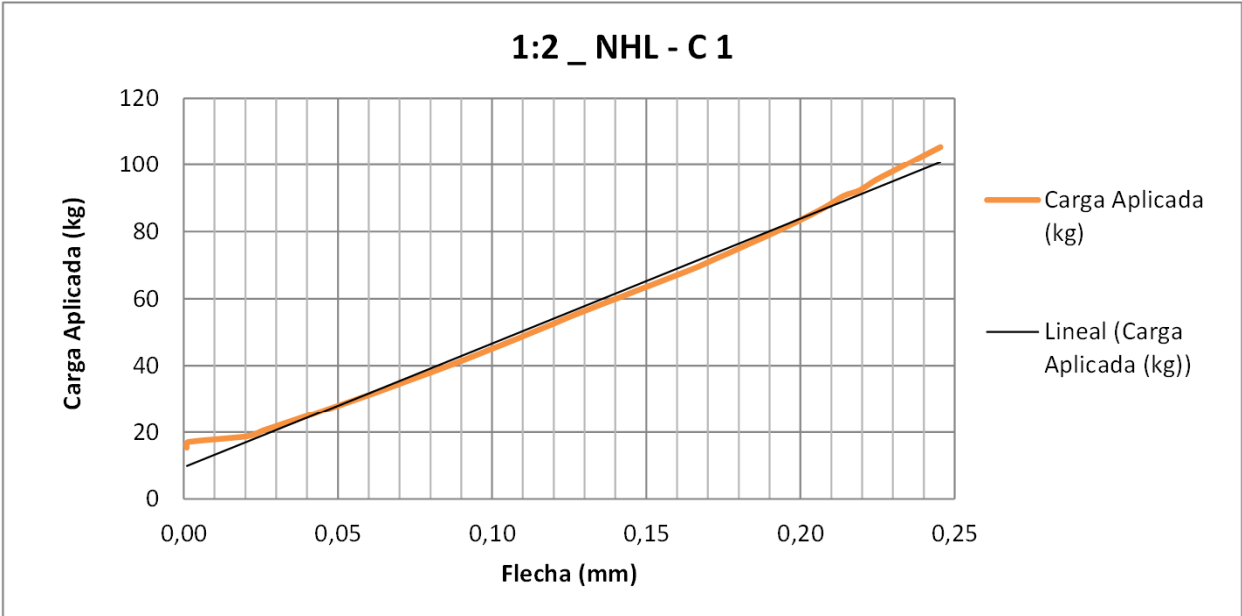
1:2 _ NHL - C 1

Carga Aplicada (kg)

Lineal (Carga Aplicada (kg))

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA	
Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C1 (N/mm ²)	2,53
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C1 (kg)	105,43
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - C1 (mm)	0,2454

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO										RESULTADOS ENSAYO								
Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada		Carga aplicada		Flecha		Tensión Máxima	
			mm		mm		mm	kg	N	mm	N/mm ²							
1:2 _ NHL		C 2	L 1 C2	159,62	B 1 C2	38,57	H 1 C2	38,91	100	15,34	150,33	0,001	0,37					
			L 2 C2	158,58	B 2 C2	39,44	H 2 C2	39,94		16,99	166,50	0,002	0,41					
			L 3 C2	159,22	B 3 C2	39,94	H 3 C2	40,21		18,78	184,04	0,003	0,45					
			L 4 C2	159,85	B 4 C2	40,27	H 4 C2	39,43		20,51	201,00	0,028	0,49					
										22,12	216,78	0,038	0,23					
MEDIAS			L C2	159,32	B C2	39,56	H C2	39,62		23,75	232,75	0,045	0,57					
										25,36	248,53	0,056	0,61					
										27,02	264,80	0,062	0,65					
										28,69	281,16	0,069	0,69					
										30,39	297,82	0,077	0,73					
										32,06	314,19	0,083	0,77					
										33,83	331,53	0,088	0,81					
										35,60	348,88	0,093	0,85					
										37,36	366,13	0,099	0,90					
										39,13	383,47	0,105	0,94					
										40,95	401,31	0,108	0,98					
										42,82	419,64	0,117	1,03					
										44,75	438,55	0,122	1,07					
										46,64	457,07	0,130	1,12					
										48,59	476,18	0,141	1,17					
										50,60	495,88	0,146	1,21					
										52,54	514,89	0,153	1,28					
										54,61	535,18	0,159	1,31					
										56,50	553,70	0,164	1,36					
										58,38	572,12	0,168	1,40					
										60,21	590,06	0,174	1,44					
										62,10	608,58	0,182	1,49					
										63,96	626,81	0,187	1,53					
										65,82	645,04	0,192	1,58					
										67,68	663,26	0,198	1,62					
										69,59	681,98	0,201	1,67					
										71,78	703,44	0,206	1,72					
										73,87	723,93	0,212	1,77					
										76,06	745,39	0,218	1,82					

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C2 (N/mm²)

1,82

Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C2 (kg)

76,06

Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - C2 (mm)

0,2180

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

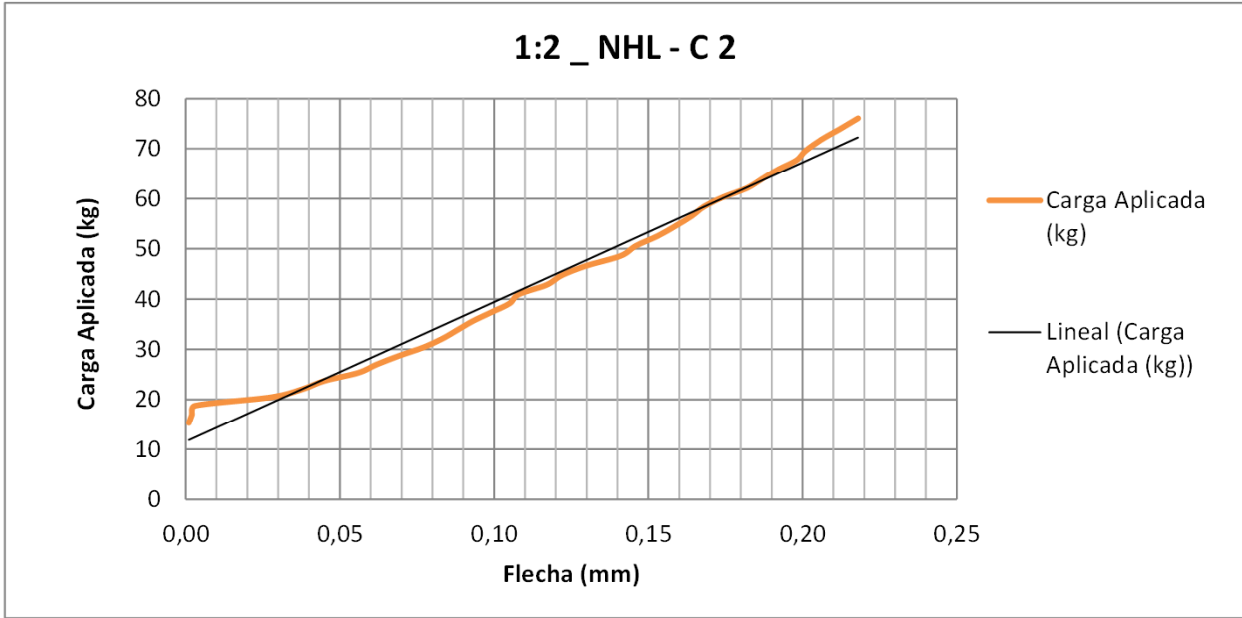
1:2 _ NHL - C 2

Carga Aplicada (kg)

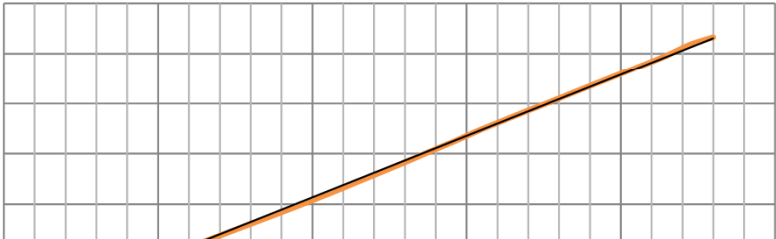
— Lineal (Carga Aplicada (kg))

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA	
Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C2 (N/mm ²)	1,82
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C2 (kg)	76,06
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - C2 (mm)	0,2180

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

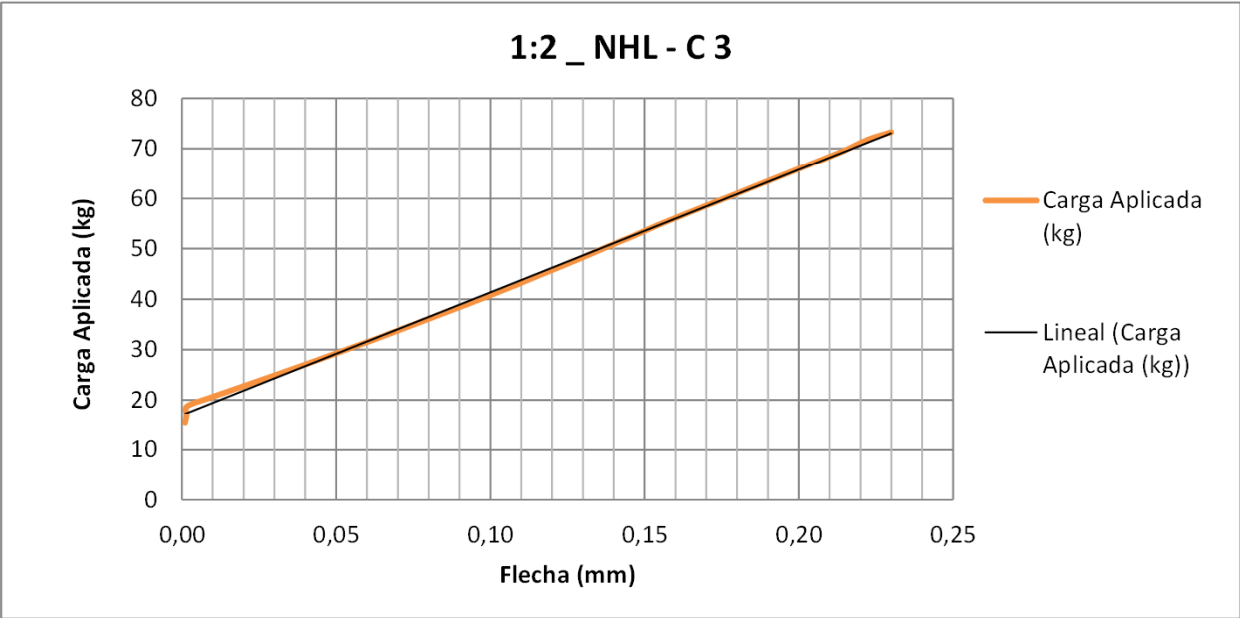


CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO										RESULTADOS ENSAYO								
Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada		Carga aplicada		Flecha		Tensión Máxima	
			mm		mm		mm		mm		kg		N		mm		N/mm ²	
1:2 _ NHL		C 3	L 1 C3	160,24	B 1 C3	39,21	H 1 C3	39,71	100		15,34		150,33		0,0010		0,37	
			L 2 C3	159,30	B 2 C3	38,82	H 2 C3	39,94			16,99		166,50		0,0015		0,41	
			L 3 C3	158,62	B 3 C3	40,12	H 3 C3	38,95			18,78		184,04		0,0017		0,45	
			L 4 C3	159,25	B 4 C3	40,07	H 4 C3	39,83			20,51		201,00		0,0093		0,49	
											22,12		216,78		0,0169		0,23	
											23,75		232,75		0,0245		0,57	
											25,36		248,53		0,0321		0,61	
											27,02		264,80		0,0397		0,65	
											28,69		281,16		0,0474		0,69	
											30,39		297,82		0,0550		0,73	
											32,06		314,19		0,0626		0,77	
											33,83		331,53		0,0702		0,81	
											35,60		348,88		0,0778		0,85	
											37,36		366,13		0,0854		0,90	
											39,13		383,47		0,0930		0,94	
											40,95		401,31		0,1006		0,98	
											42,82		419,64		0,1082		1,03	
											44,75		438,55		0,1158		1,07	
											46,64		457,07		0,1234		1,12	
											48,59		476,18		0,1310		1,17	
											50,60		495,88		0,1386		1,21	
											52,54		514,89		0,1462		1,28	
											54,61		535,18		0,1539		1,31	
											56,50		553,70		0,1615		1,36	
											58,38		572,12		0,1691		1,40	
											60,21		590,06		0,1767		1,44	
											62,10		608,58		0,1843		1,49	
											63,96		626,81		0,1919		1,53	
											65,82		645,04		0,1995		1,58	
											67,68		663,26		0,2071		1,62	
											69,59		681,98		0,2147		1,67	
											71,78		703,44		0,2223		1,72	
											73,27		718,05		0,2299		1,77	
RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA																		
Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C3 (N/mm ²)										1,77								
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C3 (kg)										73,27								
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - C3 (mm)										0,2299								
GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA																		
1:2 _ NHL - C 3																		
																		
Carga Aplicada (kg)																		
Líneaal /Carga																		

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA	
Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C3 (N/mm ²)	1,77
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL - C3 (kg)	73,27
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL - C3 (mm)	0,2299

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26
27	28
29	30
31	32
33	34
35	36
37	38
39	40
41	42
43	44
45	46
47	48
49	50
51	52
53	54
55	56
57	58
59	60
61	62
63	64
65	66
67	68
69	70
71	72
73	74
75	76
77	78
79	80
81	82
83	84
85	86
87	88
89	90
91	92
93	94
95	96
97	98
99	100

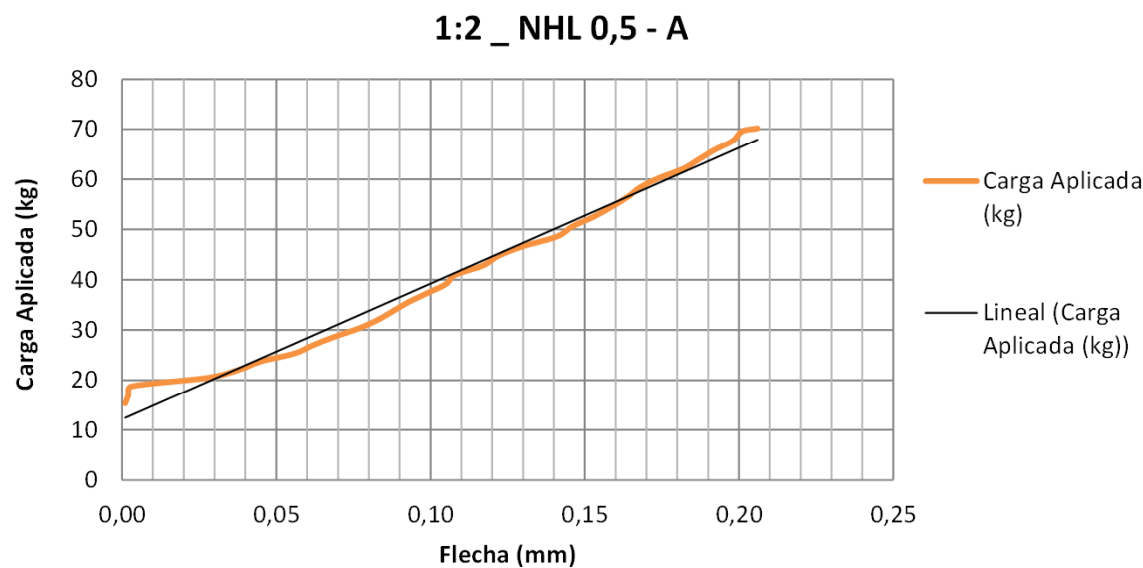
RESULTADOS ENSAYO

1:2 _ NHL 0,5	A	L 1 A	159,53	B 1 A	39,37	H 1 A	39,83	100	15,34	150,33	0,001	0,37
		L 2 A	158,58	B 2 A	39,44	H 2 A	39,74		16,99	166,50	0,002	0,41
		L 3 A	159,12	B 3 A	39,64	H 3 A	39,61		18,78	184,04	0,003	0,45
		L 4 A	159,75	B 4 A	39,87	H 4 A	39,43		20,51	201,00	0,028	0,49
									22,12	216,78	0,038	0,23
MEDIAS		LA	159,25	BA	39,58	HA	39,65		23,75	232,75	0,045	0,57

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - A (N/mm ²)	1,72
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - A (kg)	70,18
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - A (mm)	0,206

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



15,34	150,33	0,001	0,37
16,99	166,50	0,002	0,41
18,78	184,04	0,003	0,45
20,51	201,00	0,028	0,49
22,12	216,78	0,038	0,23
23,75	232,75	0,045	0,57
25,36	248,53	0,056	0,61
27,02	264,80	0,062	0,65
28,69	281,16	0,069	0,69
30,39	297,82	0,077	0,73
32,06	314,19	0,083	0,77
33,83	331,53	0,088	0,81
35,60	348,88	0,093	0,85
37,36	366,13	0,099	0,90
39,13	383,47	0,105	0,94
40,95	401,31	0,108	0,98
42,82	419,64	0,117	1,03
44,75	438,55	0,122	1,07
46,64	457,07	0,130	1,12
48,59	476,18	0,141	1,17
50,60	495,88	0,146	1,21
52,54	514,89	0,153	1,28
54,61	535,18	0,159	1,31
56,50	553,70	0,164	1,36
58,38	572,12	0,168	1,40
60,21	590,06	0,174	1,44
62,10	608,58	0,182	1,49
63,96	626,81	0,187	1,53
65,82	645,04	0,192	1,58
67,68	663,26	0,198	1,62
69,59	681,98	0,201	1,67
70,18	687,76	0,206	1,72

CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

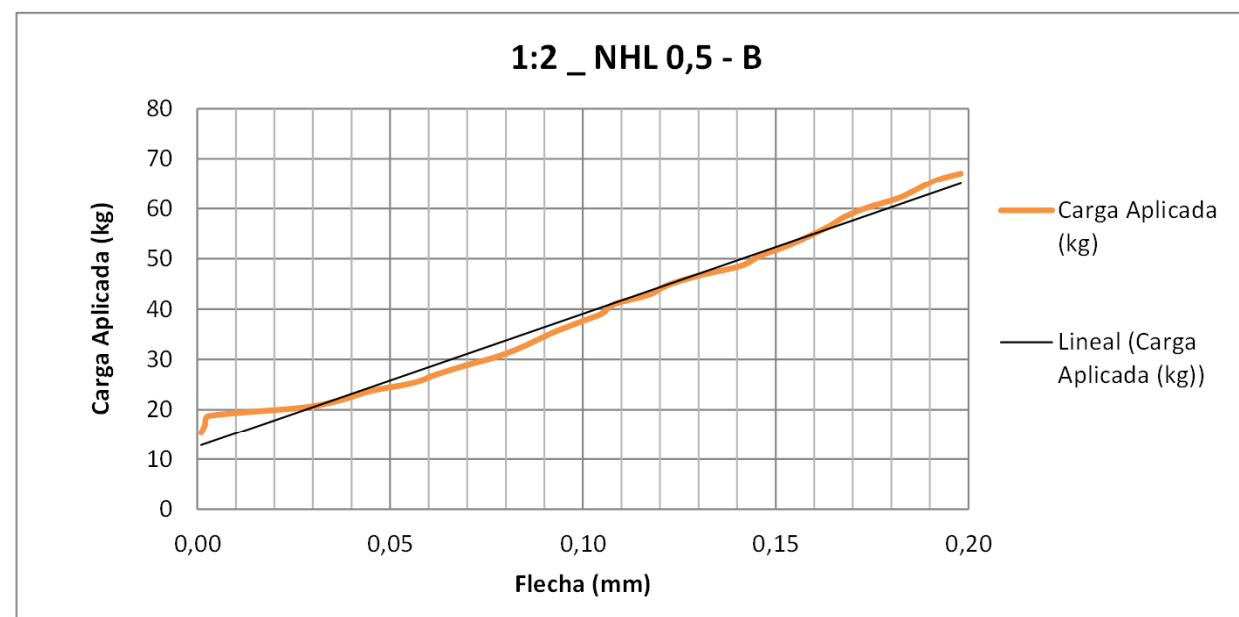
RESULTADOS ENSAYO

Nombre de la mezcla	Código probeta	Longitud de la probeta	Base de la probeta	Altura de la probeta	Longitud entre apoyos	Carga aplicada	Carga aplicada	Flecha	Tensión Máxima
		mm	mm	mm	mm	kg	N	mm	N/mm ²
1:2 _ NHL 0,5	B	L 1 B 159,31 L 2 B 159,17 L 3 B 159,36 L 4 B 159,25	B 1 B 39,46 B 2 B 39,63 B 3 B 39,21 B 4 B 39,89	H 1 B 39,34 H 2 B 39,82 H 3 B 39,86 H 4 B 39,46	100	15,34 16,99 18,78 20,51 22,12 23,75 25,36 27,02 28,69 30,39 32,06 33,83 35,60 37,36 39,13 40,95 42,82 44,75 46,64 48,59 50,60 52,54 54,61 56,50 58,38 60,21 62,10 63,96 65,82 67,06	150,33 166,50 184,04 201,00 216,78 232,75 248,53 264,80 281,16 297,82 314,19 331,53 348,88 366,13 383,47 401,31 419,64 438,55 457,07 476,18 495,88 514,89 535,18 553,70 572,12 590,06 608,58 626,81 645,04 657,19	0,001 0,002 0,003 0,028 0,038 0,045 0,056 0,062 0,069 0,077 0,083 0,088 0,093 0,099 0,105 0,108 0,117 0,122 0,130 0,141 0,146 0,153 0,159 0,164 0,168 0,174 0,182 0,187 0,192 0,198	0,37 0,41 0,45 0,49 0,23 0,57 0,61 0,65 0,69 0,73 0,77 0,81 0,85 0,90 0,94 0,98 1,03 1,07 1,12 1,17 1,21 1,28 1,31 1,36 1,40 1,44 1,49 1,53 1,58 1,62
MEDIAS		LB 159,27	BB 39,55	HB 39,62					

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - B (N/mm ²)	1,62
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - B (kg)	67,06
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - B (mm)	0,198

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

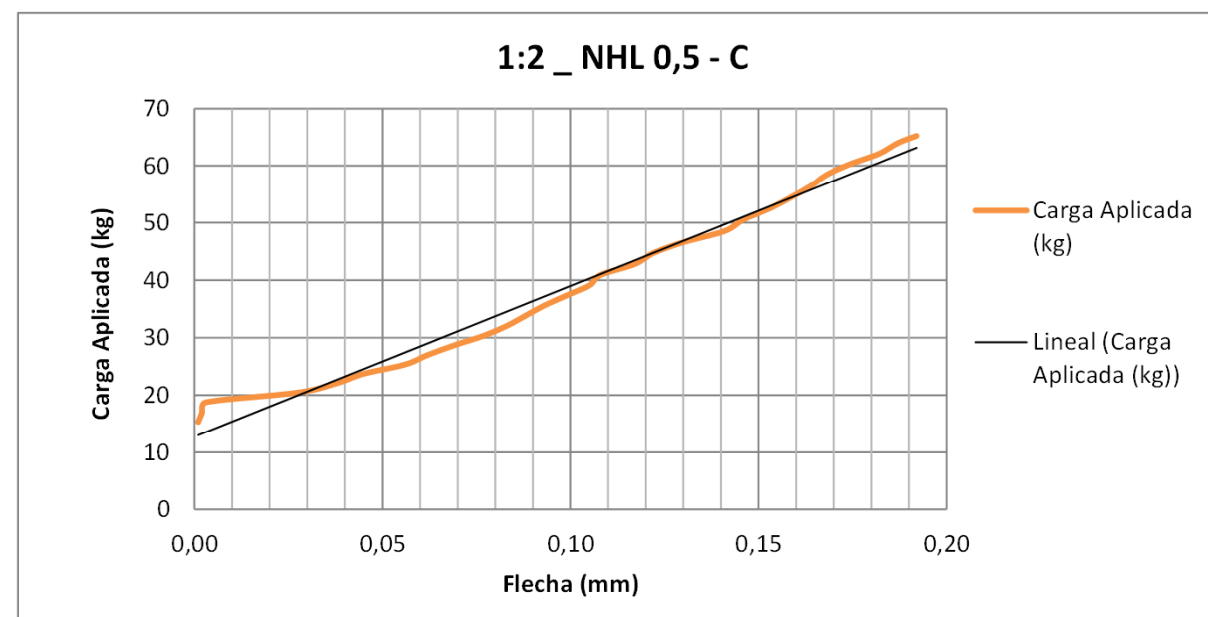
DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO

Nombre de la mezcla		Código probeta	Longitud de la probeta		Base de la probeta		Altura de la probeta		Longitud entre apoyos		Carga aplicada		Carga aplicada		Flecha		Tensión Máxima	
			mm		mm		mm		mm		kg		N		mm		N/mm ²	
1:2 _ NHL 0,5		C	L 1 C	159,42	B 1 C	39,42	H 1 C	39,75	100		15,34		150,33		0,001		0,37	
			L 2 C	159,31	B 2 C	39,41	H 2 C	39,37			16,99		166,50		0,002		0,41	
			L 3 C	159,23	B 3 C	39,54	H 3 C	39,82			18,78		184,04		0,003		0,45	
			L 4 C	159,13	B 4 C	39,81	H 4 C	39,54			20,51		201,00		0,028		0,49	
											22,12		216,78		0,038		0,23	
MEDIAS			LC	159,27	BC	39,55	HC	39,62			23,75		232,75		0,045		0,57	

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Tensión de rotura de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - C (N/mm ²)	1,58
Carga de rotura de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - C (kg)	65,22
Flecha máxima de la muestra 1:2 _ NHL 0,5 - C (mm)	0,192

GRÁFICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA



CAL AÉREA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

CARGA MÁXIMA	FLECHA MÁXIMA	TENSIÓN MÁXIMA
kg	mm	N/mm2

DATOS MEZCLA 1:3 _ CL

A	120,200	0,4113	2,88
B	151,110	0,3922	3,70
C	165,060	0,4062	4,04

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

1:3 _ CL	145,457	0,403	3,54
----------	---------	-------	------

DATOS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

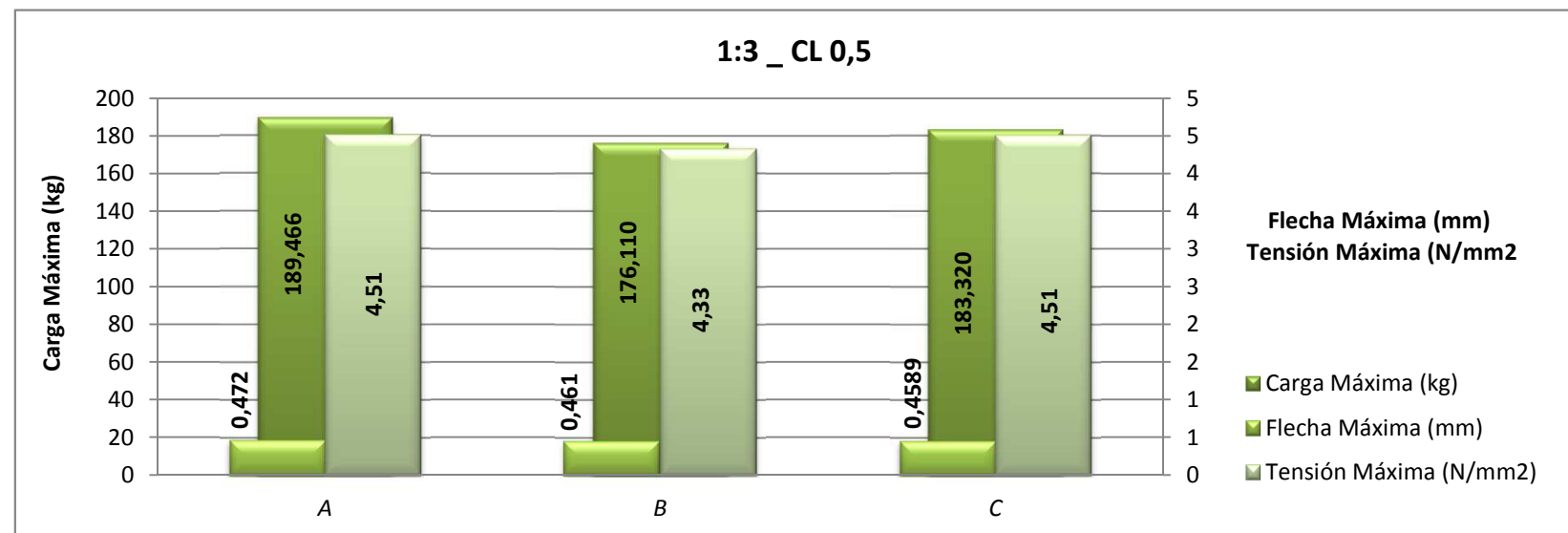
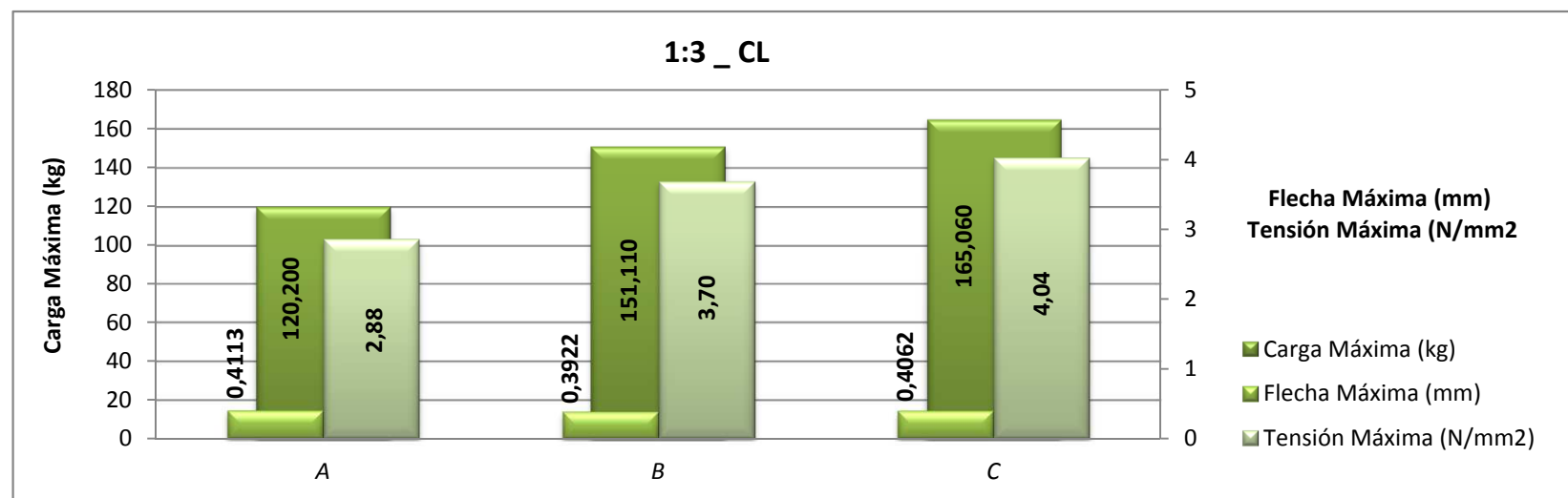
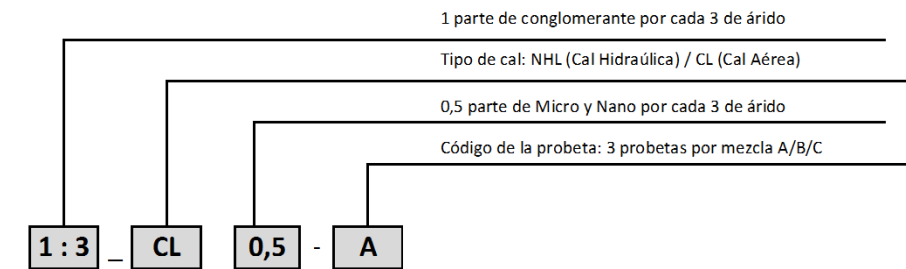
A	189,466	0,472	4,51
B	176,110	0,461	4,33
C	183,320	0,4589	4,51

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

1:3 _ CL 0,5	182,965	0,464	4,45
--------------	---------	-------	------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

CARGA MÁXIMA	FLECHA MÁXIMA	TENSIÓN MÁXIMA
kg	mm	N/mm2

DATOS MEZCLA 1:2 _ NHL

A	110,360	0,246	2,65
B	77,060	0,224	1,88
C 1	105,430	0,245	2,53
C 2	76,060	0,218	1,82
C 3	73,270	0,230	1,77

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL

1:2 _ NHL	73,782	0,187	1,78
-----------	--------	-------	------

DATOS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

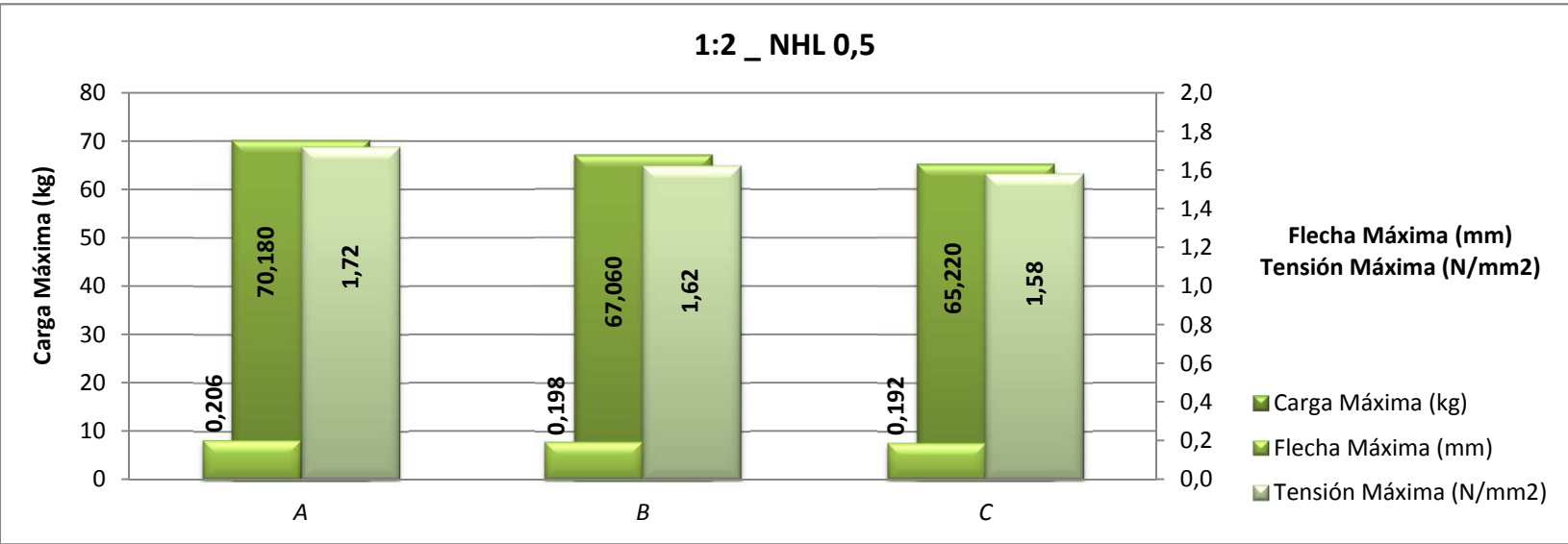
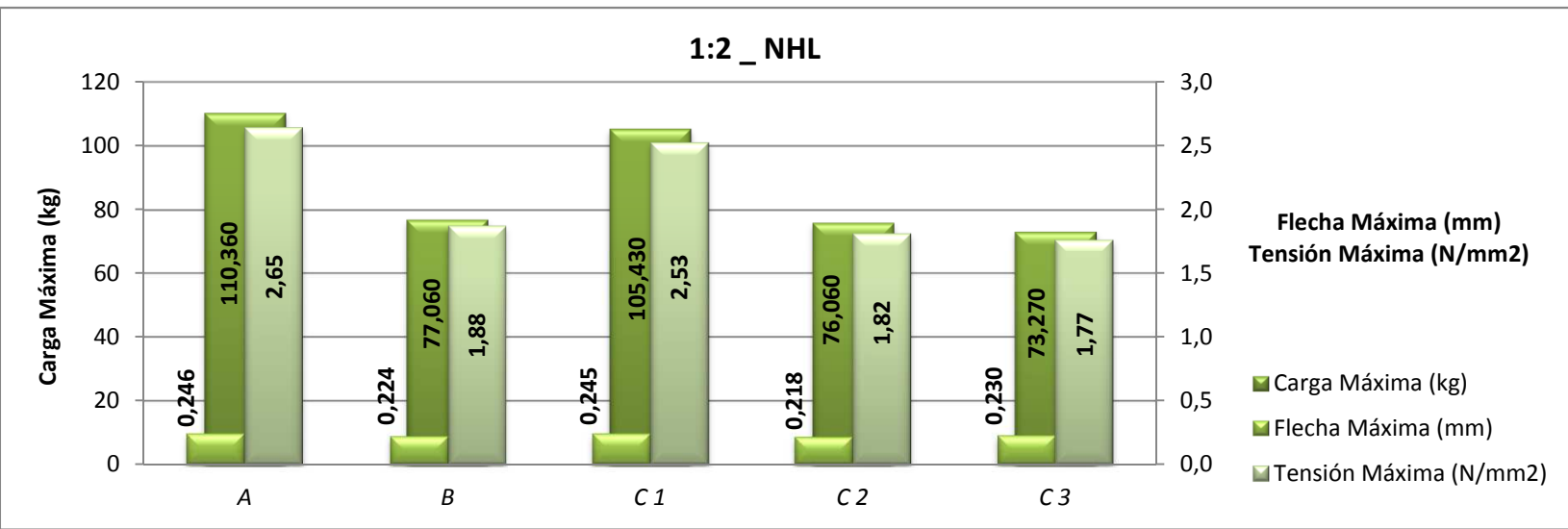
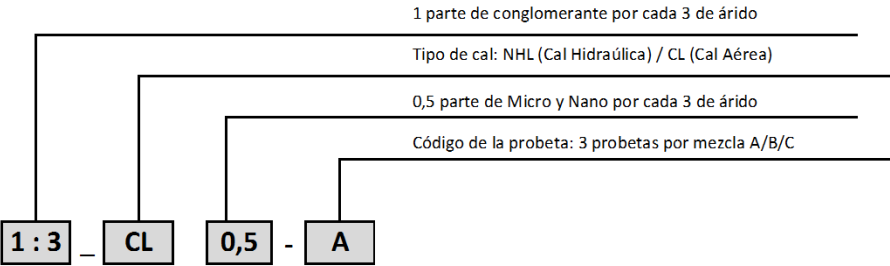
A	70,180	0,206	1,72
B	67,060	0,198	1,62
C	65,220	0,192	1,58

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5

1:2 _ NHL 0,5	67,487	0,199	1,64
---------------	--------	-------	------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS Y PROBETAS

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



CAL AÉREA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

CARGA MÁXIMA	FLECHA MÁXIMA	TENSIÓN MÁXIMA
kg	mm	N/mm2

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

COMPRESIÓN

1:3 _ CL	1066,550	2,4160	6,59
----------	----------	--------	------

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL

FLEXIÓN

1:3 _ CL	145,457	0,4032	3,54
----------	---------	--------	------

MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

COMPRESIÓN

1:3 _ CL 0,5	2012,073	2,9842	40,48
--------------	----------	--------	-------

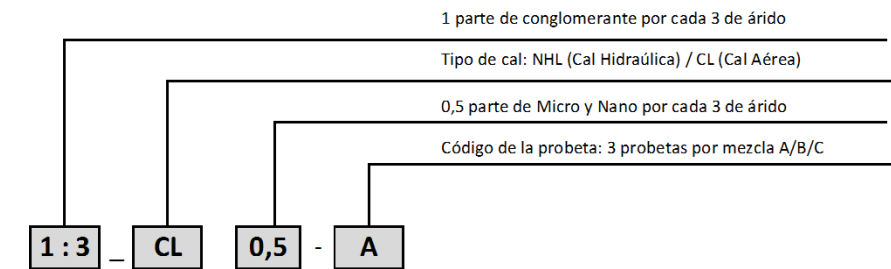
MEDIAS MEZCLA 1:3 _ CL 0,5

FLEXIÓN

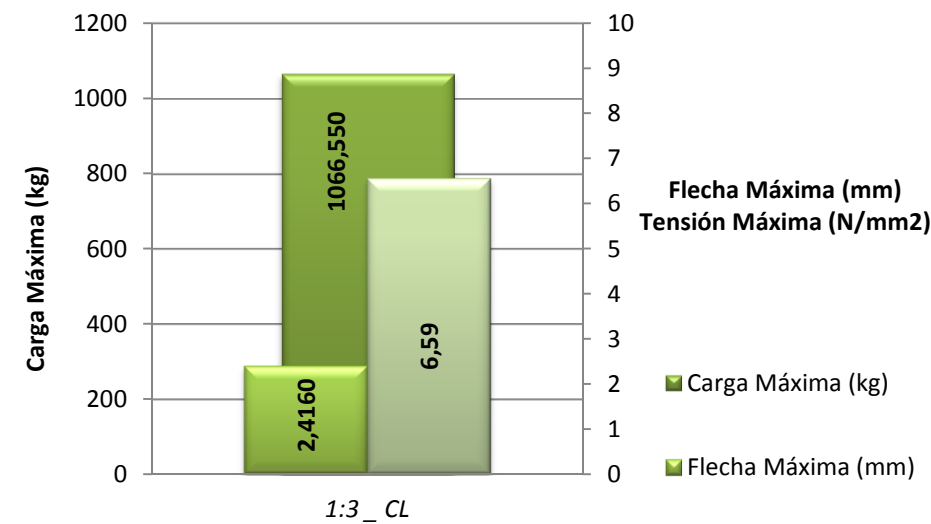
1:3 _ CL 0,5	182,965	0,4640	4,45
--------------	---------	--------	------

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEDIAS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

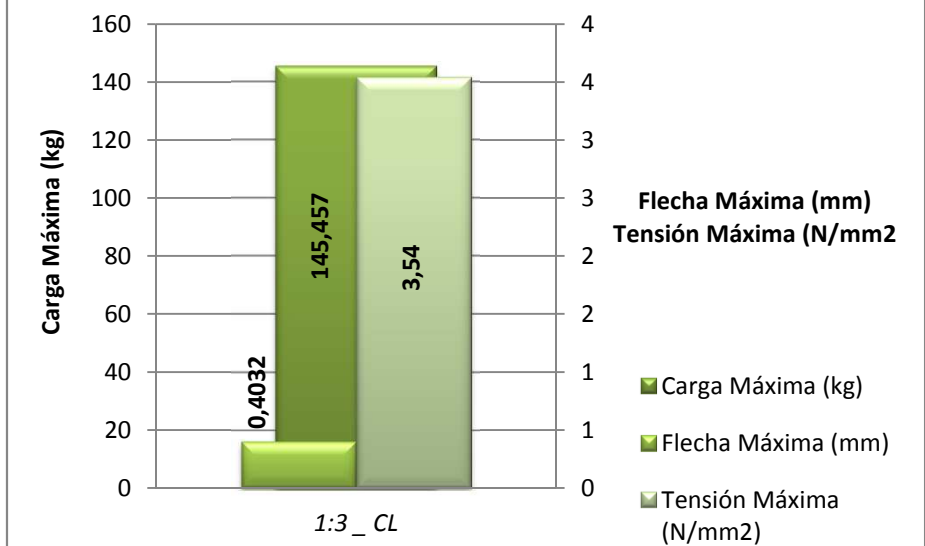
NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS



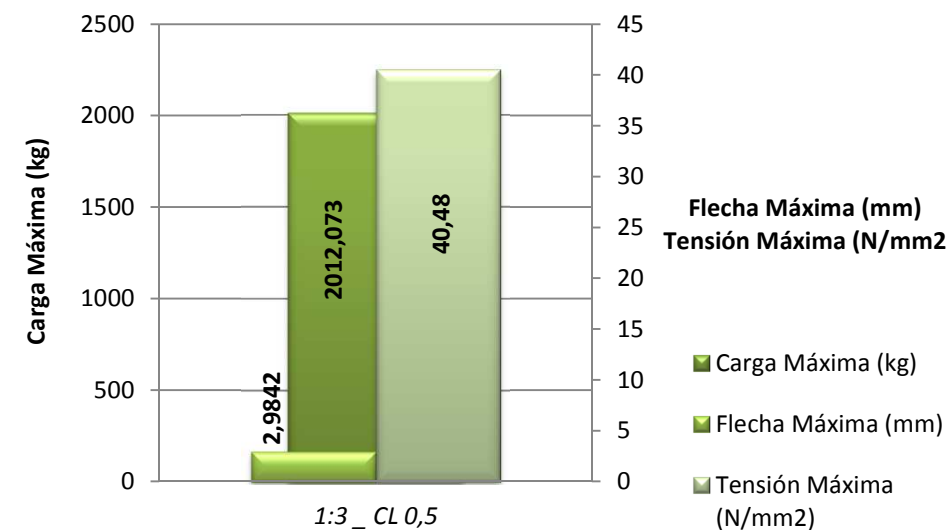
MEDIAS COMPRESIÓN 1:3 _ CL



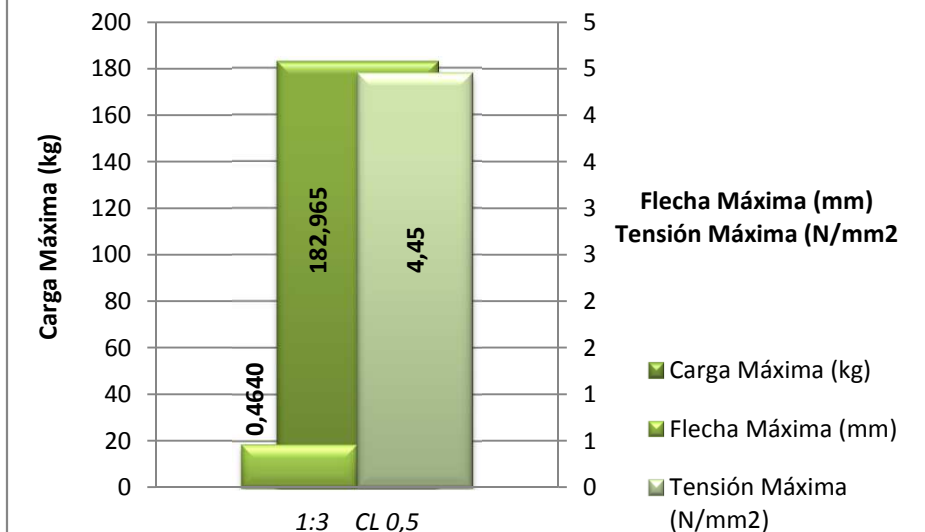
MEDIAS FLEXIÓN 1:3 _ CL



MEDIAS COMPRESIÓN 1:3 _ CL 0,5



MEDIAS FLEXIÓN 1:3 _ CL 0,5



CAL HIDRAÚLICA CON ÁRIDO

RESULTADOS ENSAYO

CARGA MÁXIMA	FLECHA MÁXIMA	TENSIÓN MÁXIMA
kg	mm	N/mm2

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL		COMPRESIÓN	
1:2 _ NHL	1847,041	2,9308	35,41

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL		FLEXIÓN	
1:2 _ NHL	73,782	0,1867	1,78

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5		COMPRESIÓN	
1:2 _ NHL 0,5	481,570	1,7403	3,32

MEDIAS MEZCLA 1:2 _ NHL 0,5		FLEXIÓN	
1:2 _ NHL 0,5	67,487	0,1987	1,64

GRÁFICAS DE LAS DIFERENTES MEDIAS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

NOMENCLATURA DE LAS PASTADAS Y DE LAS PROBETAS

